

**APROXIMACIÓN A LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DE LA
FASE DE EXPLORACIÓN MINERA AURÍFERA A GRAN ESCALA EN EL
COMPONENTE HÍDRICO DE LA VEREDA QUIEBRALOMO, SECTOR LAS
PILAS DEL MUNICIPIO RIOSUCIO, CALDAS.**

**SONIA VIVIANA HERNÁNDEZ PIEDRAHITA
JULY MILENA PARRA ECHEVERRI**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL
PEREIRA
2018**

**APROXIMACIÓN A LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DE LA
FASE DE EXPLORACIÓN MINERA AURÍFERA A GRAN ESCALA EN EL
COMPONENTE HÍDRICO DE LA VEREDA QUIEBRALOMO, SECTOR LAS
PILAS DEL MUNICIPIO RIOSUCIO, CALDAS.**

**SONIA VIVIANA HERNÁNDEZ PIEDRAHITA
JULY MILENA PARRA ECHEVERRI**

**Trabajo para optar al título de
Administradora Ambiental**

**Directora
DELIANA CARDOZO PELÁEZ
Geóloga
Especialista en gerencia en prevención y atención de desastres**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL
PEREIRA
2018**

Nota de aceptación

Firma director

Pereira, 2018.

DEDICATORIA

A quien me enseñó el verdadero significado
de la entrega y la persistencia.

Sonia Viviana

A mi mamá y mi hermanito por brindarme su amor
y ser incondicionales en cualquier circunstancia.

July Milena

AGRADECIMIENTOS

A Dios por habernos dado la fortaleza para continuar en los
momentos de debilidad y poder finalizar esta etapa
de nuestras vidas.

A nuestras familias por su esfuerzo y apoyo en este proceso
de formación profesional y por brindarnos las bases
para crecer como personas.

A nuestros compañeros por las experiencias que quedaron
de todos los momentos compartidos.

A Deli nuestra directora por darnos una frase de ánimo que
siempre nos impulsaba a seguir adelante.

A Tito por contribuir con sus conocimientos en el desarrollo
de este trabajo.

A la comunidad por su buena disposición para ayudarnos
en la realización de esta investigación.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	12
2. PROBLEMA.....	13
2.1 Planteamiento del problema	13
2.2 Pregunta de investigación.....	14
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. OBJETIVOS	16
4.1 Objetivo general	16
4.2 Objetivos específicos.....	16
5. MARCO DE REFERENCIA	17
5.1 Marco conceptual	17
5.1.1 Antecedentes Evaluación de Impacto Ambiental.	17
5.1.2 Evaluación de Impacto Ambiental	19
5.1.3. Modelos de simulación	25
5.1.4 Minería.....	30
5.1.5 Reseña histórica de la minería aurífera.....	33
5.2 Marco normativo	38
6. METODOLOGÍA	40
6.1 Localización área de estudio	44
7. RESULTADOS.....	46
7.1 Caracterización de las actividades desarrolladas en la fase de exploración minera en Colombia	46
7.1.1 Fase I. Exploración geológica de superficie	47
7.1.2 Fase II. Exploración geológica del subsuelo	47
7.1.3 Fase III. Evaluación y Modelo Geológico	48
7.1.4 Fase IV. Programa de Trabajos y Obras.....	48
7.2 Aspectos ambientales	56
7.3 Caracterización del territorio.....	57
7.3.1 Biofísica.....	57
7.3.2 Socioeconómica.....	71
7.3.3 Procesos políticos y culturales.....	78
7.4 Aproximación diagnóstica en términos de oferta y demanda del componente hídrico ..	80
7.5 Simulación.....	86

7.5.1 Descripción del modelo	87
<i>Escenario 1</i>	93
<i>Escenario 2</i>	96
<i>Escenario 3</i>	99
7.6 Calidad del agua	101
8. DISCUSIÓN	103
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
10. BIBLIOGRAFÍA	106

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de impactos ambientales	20
Cuadro 2. Diseño metodológico	43
Cuadro 3. Aspectos Ambientales	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización vereda Quiebralomo.....	44
Figura 2. Localización sector Las Pilas	45
Figura 3. Concesión Exploradora la Esperanza	46
Figura 4. Fases de exploración minera	49
Figura 5. Mapa Geológico vereda Quiebralomo.....	58
Figura 6. Usos del suelo sector Las Pilas.....	74
Figura 7. Modelo de simulación exploración minera sector Las Pilas	92

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Usos del suelo sector Las Pilas	75
Gráfica 2. Precipitación	81
Gráfica 3. Demanda agua Las Pilas	94
Gráfica 4. Consumo de agua personal campamento	95
Gráfica 5. Demanda 2 Las Pilas.....	95
Gráfica 6. Demanda de agua proceso de perforación	96
Gráfica 7. Demanda agua Las Pilas	97
Gráfica 8. Agua disponible Las Pilas.....	98
Gráfica 9. Déficit Las Pilas	98
Gráfica 10. Demanda de agua para perforación.....	100
Gráfica 11. Agua disponible para otros usos	100
Gráfica 12. Agua disponible para otros usos	101

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Finca Conrado Parra	69
Imagen 2. Nacimiento “El Vendabal”	69
Imagen 3. Actividad pecuaria	75
Imagen 4. Actividad agrícola.....	76
Imagen 5. Minas de Gavia	77

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Caudal de escorrentía.....	81
Tabla 2. Información hídrica.....	81
Tabla 3. Caudal Acueducto Comunitario Quiebralomo	83
Tabla 4. Caudal Acueducto Comunitario Las Pilas	84
Tabla 5. Caudal Acueducto Comunitario Conrado Parra	85

RESUMEN

En la presente investigación se dan a conocer los resultados de la evaluación de impacto ambiental en el componente hídrico del sector Las Pilas en la vereda Quiebralomo del municipio Riosucio, Caldas en caso de llevar a cabo el proceso de exploración minera aurífera; para lo cual se realizó una caracterización de las actividades desarrolladas en la fase de exploración minera, logrando así identificar cuáles eran potencialmente impactantes. Así como la aproximación al diagnóstico ambiental con el cual se pudo conocer las condiciones actuales del territorio; haciendo énfasis la descripción del componente hídrico del sector.

La Evaluación de Impacto Ambiental se realizó a través de la elaboración de un modelo de simulación donde se valoraron diferentes datos y, de este modo, se pudo comprobar de manera cuantitativa que en la exploración minera aurífera en el sector Las Pilas, no se produce una afectación significativa en la cantidad del componente hídrico, puesto que el agua requerida en el proceso no representa una demanda considerable, tanto en uso doméstico como industrial.

Palabras clave: Evaluación de impacto ambiental, simulación, minería.

ABSTRACT

In the present investigation, the results of the environmental impact assessment in the water component of the Las Pilas sector in the sidewalk of Quiebralomo, municipality of Riosucio, Caldas, are presented in case of carrying out the gold mining exploration process; for which a characterization of the activities developed in the mining exploration phase was carried out, thus identifying which were potentially impacting. As well as the approach to environmental diagnosis with which it was possible to know the current conditions of the territory; emphasizing the description of the water component of the sector.

The Environmental Impact Assessment was carried out through the elaboration of a simulation model where different data were evaluated and, in this way, it was possible to verify in a quantitative way that in the gold mining exploration in the Las Pilas sector, there is no significant effect on the quantity of the water component, since the water required in the process does not represent a considerable demand, both in domestic and industrial use.

Keywords: Environmental impact assessment, simulation, mining.

1. INTRODUCCIÓN

Colombia es uno de los países más biodiversos al albergar cerca del 10% de las especies de flora y fauna del planeta, además de contar con una de las mayores reservas hídricas del mundo. No obstante, gran parte del territorio se encuentra en la actualidad concesionado o solicitado por empresas mineras que en su mayoría son extranjeras, demostrando así, el empeño por convertir el país en una potencia minera aun conociendo las implicaciones que este tipo de industria tiene sobre las dinámicas biofísicas y socioeconómicas de los territorios objeto de esta actividad. En este contexto, la evaluación de impacto ambiental constituye una herramienta fundamental para tomar decisiones sobre la autorización de cualquier proyecto, obra o actividad que se desee llevar a cabo, puesto que da a conocer las alteraciones significativas que se pueden originar de acuerdo con las características del proyecto y las particularidades de la zona de interés.

El municipio de Riosucio del departamento de Caldas no es ajeno a lo antes dicho, pues ha sido objeto de múltiples intereses para realizar explotación minera en diferentes sectores, especialmente en zonas que corresponden al resguardo indígena de Cañamomo Lomaprieta, un territorio que goza de total independencia y soberanía. El sector Las Pilas de la Vereda Quiebralomo, caracterizado por centrar sus dinámicas socioeconómicas en la minería tradicional, como también, por su autosuficiencia hídrica, se encuentra en su totalidad concesionado para el desarrollo de las actividades propias de la fase de exploración minera aurífera por parte de empresas foráneas.

De acuerdo con lo expresado, el presente trabajo tiene por objetivo evaluar los impactos ambientales generados en el componente hídrico por las actividades desarrolladas en la fase de exploración minera aurífera en el sector Las Pilas, implementando un modelo de simulación.

Para su alcance se plantean tres momentos, el primero consiste en caracterizar las actividades desarrolladas en la fase de exploración de la minería aurífera; el segundo, en diagnosticar las condiciones ambientales del territorio, principalmente la oferta y demanda del componente hídrico; y el tercero, en implementar un modelo de simulación que evalúe el comportamiento de los impactos ambientales generados por las actividades en un tiempo determinado especialmente en la cantidad. En este sentido, el desarrollo de la investigación bajo una metodología cuali-cuantitativa fue fundamental por el enfoque descriptivo y numérico que se aplicó.

En última instancia, es importante resaltar que el alcance del proyecto consiste en generar un conocimiento cuantitativo y obtener resultados objetivos sobre el impacto ambiental generado en el componente hídrico de la zona de estudio por las actividades exploratorias, así como brindar una herramienta práctica que permita modelar escenarios distintos frente a la intervención minera.

2. PROBLEMA

2.1 Planteamiento del problema

Las poblaciones campesinas, para el desarrollo de sus actividades productivas, dependen de las condiciones de los ecosistemas y elementos naturales que les son disponibles, principalmente el agua, pues su disponibilidad y calidad afecta directamente los renglones socioeconómicos locales propios de una población rural, como son las actividades agropecuarias y el consumo humano. La industria minera requiere la utilización de grandes volúmenes de agua para poder extraer y procesar minerales, lo cual implica que se genere un

estrés hídrico en términos de calidad, cantidad y acceso en los territorios rurales donde la actividad minera se lleve a cabo (Isaza, 2016).

Riosucio desde la época colonial ha sido objeto de múltiples intereses por su riqueza aurífera y en la actualidad desarrolla la minería de forma tradicional siendo una de las principales generadoras de empleo. El municipio al ser un territorio indígena se rige bajo el principio de autonomía de sus comunidades, donde las autoridades tienen derecho a proferir regulaciones sobre el uso del suelo para actividades mineras al interior de los resguardos. En este sentido, las minas cumplen con protocolos establecidos para estos lugares, como es el barequeo y la explotación en concordancia con los planes de manejo ambiental. Sin embargo, desde la década de los noventa, estas zonas han recibido presiones constantes por parte de actores foráneos que han demostrado interés en obtener derechos sobre algunas áreas del municipio para la extracción de oro a gran escala.

En particular el sector Las Pilas de la vereda Quiebralomo perteneciente al Resguardo Indígena Cañamomo Lomaprieta, ha sido ofertado y concesionado por el estado colombiano a particulares y empresas con destino a la exploración y explotación minera alterando el modelo de desarrollo propio al desconocer la manera como se ha ordenado el territorio, lo que puede afectar no solo las condiciones socioeconómicas y culturales sino también las biofísicas, en especial el agua.

2.2 Pregunta de investigación

¿Qué impactos ambientales se generan en el componente hídrico por las actividades que se desarrollan en la fase de exploración minera aurífera en la vereda Quiebralomo, sector Las Pilas del municipio de Riosucio, Caldas?

3. JUSTIFICACIÓN

La minería en Colombia ha representado a través de la historia el medio de subsistencia en varios sectores de la población, manteniéndose este tipo de producción hasta nuestros días. En los últimos años, compañías de países como Canadá, Inglaterra y Sudáfrica han intensificado su actividad en la ejecución de proyectos de búsqueda y extracción de oro en el país, incrementando fuertemente la explotación a gran escala. El desarrollo de este tipo de actividades requiere tecnología de punta que permita acceder a lugares remotos que, en el mayor de los casos, atañen áreas frágiles y de valor de conservación, generando transformaciones que inciden directamente en las condiciones físicas y biológicas entre las cuales se incluye el componente hídrico en términos de calidad y cantidad, pues producto de las actividades mineras no solo se generan vertimientos sino que también se realiza el desvío de cauces lo que puede ocasionar inundaciones o en su defecto disminución en el caudal.

En el Departamento de Caldas se documenta la existencia de metales preciosos, siendo la zona occidental del departamento (Marmato, Riosucio y Supía) la más atractiva en cuanto a oro y plata. Por su parte Riosucio, a pesar de ser un municipio con vocación agrícola, tiene como principal fuente de empleo la minería, y en el caso del sector Las Pilas, ésta es la principal actividad económica que han desarrollado sus habitantes milenariamente.

Las fuentes hídricas del sector logran abastecer los acueductos comunitarios de la vereda Quiebralomo, convirtiéndose en un bien esencial para el sustento de la comunidad; aun

así, se han visto amenazadas en las dos últimas décadas por el interés de grandes compañías en el sector. Es por esto, que evaluar los impactos ambientales generados en el componente hídrico por la actividad minera a gran escala, mediante una metodología cuantitativa, permite indagar con mayor detalle los efectos generados en un tiempo determinado.

Es importante resaltar que este estudio al ser afrontado de manera interdisciplinaria, va acorde al perfil ocupacional del administrador ambiental puesto que cuenta con competencias que le permiten llevar a cabo procesos en los cuales, a partir del diálogo entre diferentes disciplinas, se proyectan las alteraciones que se podrían generar en un componente natural de vital importancia como lo es el hídrico, teniendo en cuenta que la oferta de agua ha sido constante en el territorio a pesar de llevar a cabo actividades mineras.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar impactos ambientales en el componente hídrico generados por las actividades desarrolladas en la fase de exploración minera aurífera en la vereda Quiebralomo, sector Las Pilas del municipio Riosucio, Caldas a través un modelo de simulación.

4.2 Objetivos específicos

Caracterizar las actividades desarrolladas en la fase de exploración minera aurífera a gran escala.

Diagnosticar en términos de oferta y demanda el componente hídrico del sector Las Pilas del municipio Riosucio, Caldas que permitan la valoración de los impactos ambientales.

Implementar un modelo de simulación para la evaluación de impactos ambientales en el componente hídrico.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1 Marco conceptual

5.1.1 Antecedentes Evaluación de Impacto Ambiental.

Los estudios de impacto ambiental fueron incluidos por primera vez en la Ley de Política Nacional Ambiental (NEPA) de 1969, en Estados Unidos, como respuesta al interés público demostrado ante los daños ambientales producidos por el crecimiento demográfico, la urbanización, la expansión industrial y los avances tecnológicos. Esta política introdujo además los métodos para evaluar propuestas de acuerdo con sus efectos sobre el ambiente.

En un comienzo los estudios de impacto ambiental se consideraron como un complemento de las evaluaciones de factibilidad y de los análisis de costo beneficio, constituyendo un instrumento para incluir las externalidades no contempladas en los análisis económicos. Esto promovió la implementación de estudios en todo tipo de proyectos, sin importar si generaba o no impactos al ambiente y no existía uniformidad ni coherencia en los requerimientos para diferentes propuestas. Por tal razón, el Consejo de los Estados Unidos para la Calidad Ambiental reglamentó NEPA durante 1978. Mediante estas normas se buscó

especificar los requerimientos para los estudios de impacto ambiental y desarrollar procesos que permitieran determinar el alcance de los aspectos a tratar, de tal manera que sólo se tomaran en cuenta los temas significativos relacionados con la propuesta.

Para la definición del término “significativo” se tuvo en cuenta el *contexto* como el universo en el cual la acción generara los impactos, que incluye la sociedad, la región afectada y el escenario local y, la *intensidad* como la magnitud del impacto, la cual se evalúa teniendo en cuenta diferentes criterios que permiten a las entidades gubernamentales determinar la pertinencia de elaborar un Estudio de Impacto Ambiental (EsIA), entre los cuales están: el grado en que la acción afecta la salud pública, las características de una determinada área geográfica, grado de afectación de un ecosistema o hábitat de una especie en vía de extinción y las relaciones con otras acciones.

Asimismo, en Estados Unidos se implementaron los *análisis ambientales* como documentos que suministraban evidencias suficientes para determinar la necesidad de elaborar EsIA. Estos documentos incluían la justificación de la propuesta, de otras opciones y los posibles impactos. En este sentido, aquellos proyectos con impactos mínimos quedaban excluidos de la obligación de presentar EsIA, al igual que los que requerían esfuerzos dobles o que sus evaluaciones ya existentes eran suficientes para tomar una decisión sin necesidad de otros documentos, así como, por ejemplo, proyectos destinados a la protección del aire, del componente hídrico y los relativos a la producción, comercialización, uso y registro de plaguicidas. Por su parte, en Colombia en el Código de los Recursos Naturales de 1974, se planteaban las declaraciones de efecto ambiental y se asemejaban a los análisis ambientales, sin embargo, no se hizo uso efectivo de estas antes de la expedición de la Ley 99 de 1993.

En lo que respecta a Estudios de Impacto Ambiental en Colombia, con la Ley 99 de 1993 que organizó el sistema nacional del ambiente, se expone como uno de los fundamentos de la política ambiental nacional, la elaboración de estudios de impacto ambiental, como instrumento básico para la toma de decisiones, sobre actividades que afecten al medio ambiente (Ley 99/93, art.1, numeral 11). En este sentido, el Decreto 1753 de 1994, reglamentario del título VIII de la Ley 99, definió el proceso de evaluación de impacto ambiental como instrumento de planificación del entorno. En este marco la innovación más importante al proceso de evaluación es la exigencia del Diagnóstico Ambiental de Alternativas que permite la identificación y evaluación de los efectos ambientales de un proyecto cuando este se encuentra en la etapa de reconocimiento, con el fin de reducir impactos negativos como se plantea en el artículo 18 del mismo Decreto (Sánchez, s.f.).

5.1.2 Evaluación de Impacto Ambiental

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es la herramienta preventiva mediante la cual se evalúan los impactos negativos y positivos que las políticas, planes, programas y proyectos pueden generar sobre el ambiente, y se proponen las medidas para ajustarlos a niveles de aceptabilidad (Espinoza, 2002). Por su parte, en Colombia la EIA corresponde a la etapa 4 del Estudio de Impacto Ambiental (EsIA), en la que se debe presentar la Información relacionada con la evaluación de impactos ambientales, teniendo en cuenta las características del proyecto y la zona de estudio, en ese contexto la EIA se constituye en la herramienta fundamental para tomar decisiones sobre la autorización de proyectos, obras o actividades (Martínez, 2010).

La descripción del ambiente afectado es determinante para conocer los impactos significativos que resultan del desarrollo de una acción en particular, al presentar en detalle las características y variables que mejor reflejan las alteraciones. La información que se utiliza debe ser suficiente para calificar los cambios que ocurrirán como resultado de la acción humana; estar disponible en el nivel de detalle adecuado; y utilizar los métodos de análisis ajustados a cada realidad en particular (Espinoza, 2002).

De igual modo, Espinoza (2002) afirma que la EIA se fundamenta en la evaluación de impactos (alteración positiva y negativa de carácter significativo) de las acciones humanas sobre el ambiente, entendido éste como la integración de sistemas físicos, biológicos, humanos y sus relaciones. Los impactos ambientales valorados como significativos deben ser prevenidos, mitigados, corregidos o compensados, de acuerdo con los Planes de Manejo Ambiental. Estos planes tienen como objetivo garantizar que la calidad ambiental de los factores físicos, bióticos y/o socioeconómicos no se afecten de manera significativa por las acciones o actividades del proyecto (Martínez, 2010).

Clasificación de impactos ambientales.

Martínez (2010) establece siete criterios de clasificación de impactos ambientales y, asociado a cada uno de ellos, algunas categorías para generar una valoración. (Cuadro 1)

Cuadro 1. Clasificación de impactos ambientales

Atributo	Clasificación
Carácter	Positivo: el impacto es favorable o causa un aumento o mejoramiento de la calidad ambiental del factor

	Negativo: impacto desfavorable o causa una disminución de la calidad ambiental del factor.
Relación causa - efecto	Primario: efecto que causa la acción y ocurre generalmente en el mismo lugar y tiempo que ella. Secundarios: cubre todos los efectos potenciales de los cambios adicionales que pudiesen ocurrir más adelante o en lugares diferentes como resultado de la implementación de una acción.
Atributo	Clasificación
Momento en que se manifiesta	Cuanto tiempo tarda el impacto en aparecer o evidenciarse al ejecutarse la acción (inmediato, mediano o largo plazo) no intensifica ni aumenta la magnitud del daño que se causa.
Interrelación de acciones y/o alteraciones	Simple: el impacto no presenta acumulación en el tiempo así ocurra un incremento de la frecuencia con que se repite. Acumulativo: el impacto presenta una tendencia acumulativa en el tiempo ante el incremento de la frecuencia con que se repite.
Extensión	Puntual: cuando la acción impactante produce una alteración muy localizada. Parcial: aquel cuyo impacto supone una incidencia apreciable en el área estudiada. Extremo: aquel que se detecta en una gran parte del territorio considerado. Total: aquel que se manifiesta de manera generalizada en todo el entorno considerado.
Persistencia	Temporal: aquel que supone una alteración no permanente en el tiempo, con un plazo de manifestación que puede determinarse y que por lo general es corto. Permanente: aquel que supone una alteración indefinida en el tiempo.
Capacidad de recuperación del ambiente	Irrecuperable: cuando la alteración del medio o pérdida que supone es imposible de recuperar. Irreversible: aquel impacto que supone la imposibilidad o dificultad extrema de retornar, por medios naturales, a la situación anterior a la acción que lo produce. Reversible: aquel en que la alteración puede ser asimilada por el entorno de forma medible, a corto mediano o largo plazo, debido al funcionamiento de los procesos naturales. Fugaz: aquel cuya recuperación es inmediata tras el cese de la actividad y no precisa prácticas de mitigación.

--	--

Fuente: Adaptado de Martínez, 2010

Martínez (2010) afirma que el rápido crecimiento que tuvo la EIA condujo a la adopción de múltiples metodologías para la identificación y la evaluación de los impactos ambientales que un determinado proyecto, obra o actividad puede causar sobre el ambiente en caso de ser ejecutado. De igual modo, Erazo (1998) habla acerca de diferentes metodologías para llevar a cabo la EIA, entre las cuales se incluyen matrices, listas de chequeo e índices de importancia relativa, superposición de información temática, diagramas de flujo y redes, modelos de simulación y evaluación cualitativa de impactos.

Por otro lado, cuando se analiza el desarrollo de un proyecto a lo largo de su ciclo de vida, se puede concluir que normalmente en cada una de las etapas del mismo, es decir, durante su construcción, operación y desmonte o desmantelamiento se generan impactos ambientales y aún es posible, para algunos determinados proyectos (de infraestructura por ejemplo), que se presenten impactos ambientales durante su planificación (por actividades realizadas durante los estudios de suelos o geológicos como perforaciones y calicatas, de flora y fauna como recolecciones de muestras o ejemplares, o por la presencia de los investigadores, etc.) (Arboleda, 2008)

Métodos de evaluación de impacto ambiental

Existen diferentes tipos de métodos utilizados en el proceso de evaluación de impacto ambiental, no obstante, el uso de un solo método no satisface por completo las actividades que

intervienen en un estudio de impacto ambiental, por lo tanto, es importante seleccionar correctamente los métodos indicados de acuerdo con las necesidades del estudio.

Para el desarrollo de una EIA, se tienen métodos de listas, redes de interacciones, matrices de interacciones, sistemas cartográficos, indicadores, análisis multicriterio, simulación y predicción, software y combinación (Ad-Hoc).

Métodos basados en listas

Las listas son métodos descriptivos y útiles para la etapa de identificación de impactos ambientales. Son formatos diseñados con una serie de requisitos o preguntas que se deben ir verificando para cada proyecto en particular. Dentro de estas metodologías se destacan las listas de chequeo o verificación (Viloria, 2015).

Métodos basados en redes de interacciones

Estas metodologías se basan en la representación gráfica de la relación entre las actividades y los impactos ambientales, como ejemplo de este tipo de metodologías se encuentran los métodos de Sorenson, Bereano, Banco Mundial, evaluación de ciclo de vida y Odum (Viloria, 2015).

Matrices de interacciones (causa/efecto)

Dentro de ese grupo se encuentran todos los métodos que permiten la representación de los impactos a través de matrices de doble entrada con diferentes escalas y criterios de valoración (Viloria, 2015).

Métodos de indicadores o índices

Estos métodos se basan en el uso de indicadores. Un indicador ambiental es un parámetro o valor resultante de un conjunto de parámetros que ofrece información sobre un fenómeno con amplio significado, siendo el fenómeno el impacto ambiental (Viloria, 2015).

Sistemas cartográficos

Un sistema de información geográfico es implementado para la entrada, almacenamiento, transformación, visualización, creación de mapas y análisis de datos espaciales y no espaciales. Es de gran utilidad para identificar y evaluar impactos ambientales (Viloria, 2015).

Análisis multicriterio

En este método se busca integrar diferentes criterios de acuerdo con la opinión de actores en un solo marco de análisis. Algunos de estos métodos son SUPEROLADE, GAM, MAUT, y lógica difusa (Viloria, 2015).

Herramientas de simulación o predicción

En la simulación se busca recrear el comportamiento y los parámetros del sistema ambiental o las relaciones e interacciones entre causas y efectos de determinadas acciones. Los modelos pueden ser dinámicos o estáticos dependiendo la inclusión de la variable tiempo en determinadas condiciones (Viloria, 2015).

Software para evaluación de impacto ambiental

Son herramientas que permiten realizar la EIA por facilitar la estructuración y presentación de la información. Este método posibilita el cálculo del impacto ambiental en las etapas de análisis, diagnóstico, predicción y valoración de impactos ambientales. Algunas herramientas de software conocidas son Eco-Indicador 99, Ecolizer3, IMPACT 2002+, IMPRO4 – SAAS (Viloria, 2015).

Métodos Ad - Hoc

Se desarrollan con la opinión de expertos y se basa en una o más metodologías o la adaptación de alguna de ellas. Estos métodos pueden ser utilizados en todas las etapas del proceso de evaluación de impacto ambiental (Viloria, 2015).

5.1.3. Modelos de simulación

Un sistema se puede definir como un conjunto de elementos que guardan estrechas relaciones entre sí, que mantienen al sistema directa o indirectamente unido de modo más o menos estable y cuyo comportamiento global persigue, normalmente, algún tipo de objetivo (Arnold & Osorio, 1998). Por otro lado, se podría afirmar que un sistema es el conjunto de componentes (hardware, procedimientos, funciones humanas y otros recursos) unidos por una especie de interacción regulada para formar un todo organizado. Un sistema es un grupo de procesos clave relacionados que pueden o no, estar conectados (Fullana & Urquía, 2009).

El modelo por su parte es una representación de los objetos del sistema y refleja de manera sencilla las actividades en las cuales esos objetos se encuentran involucrados (Azarang et al, 1996). La simulación de sistemas implica la construcción de modelos; el objetivo es averiguar qué pasaría en el sistema si acontecieran determinadas hipótesis. Los modelos, normalmente como una simplificación de la realidad, surgen de un análisis de todas las variables intervinientes en el sistema y de las relaciones que se descubren existen entre ellas. En él, se estudian los hechos salientes del sistema o proyecto y se hace una abstracción de la realidad, representando el sistema/proyecto. El modelo que se construye debe tener en cuenta todos los detalles que interesan en el estudio para que realmente represente al sistema real. Por razones de simplicidad deben eliminarse aquellos detalles que no interesan y que lo complicaría innecesariamente. Se requiere pues, que éste sea una fiel representación del sistema real. No obstante, el modelo no tiene porqué ser una réplica de aquél.

Por lo que se refiere a la simulación, Azarang et al (1996) la definen como el desarrollo de un modelo lógico-matemático de un sistema, de tal forma que se obtiene una imitación de la operación de un proceso de la vida real o de un sistema a través del tiempo. Sea realizada a mano o en una computadora, la simulación involucra la generación de una historia artificial de un sistema; la observación de esta historia mediante la manipulación experimental nos ayuda a inferir las características operacionales de tal sistema. Por su parte, Fullana & Urquía (2009) plantean la simulación como un medio a través del cual, tanto nuevos procesos como otros ya existentes, pueden proyectarse, evaluarse y contemplarse sin correr el riesgo asociado a experiencias llevadas a cabo en un sistema real. Es decir, permite a las organizaciones estudiar sus procesos desde una perspectiva sistemática procurando una mejor comprensión de la causa y efecto entre ellos además de permitir una mejor predicción de ciertas situaciones.

En cuanto a modelos de simulación, en el texto de Erazo (1998), se habla de que la relación entre el hombre y su ambiente es compleja y diariamente se torna más difícil para quienes toman decisiones y determinan las estrategias apropiadas para el desarrollo, así como las consecuencias de las diferentes acciones. Para facilitar estas decisiones se ha utilizado una serie de modelos que utilizan los aspectos más importantes de la realidad.

Los modelos están relacionados con la inteligencia artificial o modelos matemáticos y están propuestos para representar, en la medida de lo posible, el comportamiento de un sistema que está intervenido por una o varias acciones además de las relaciones e interacciones entre las causas y los efectos de dichas acciones. De acuerdo con la incorporación de la variable tiempo, estos pueden ser dinámicos o estáticos.

La primera fase de construcción de un modelo matemático es la delimitación espacial y temporal del sistema: el universo de análisis y la determinación de las unidades territoriales comprendidas o estudiadas por el modelo (Camero et al 2008). Después se determina la magnitud del impacto, sin embargo, la metodología que se plantee dependerá del tamaño de éste, por lo que es importante realizar un estudio preliminar de forma sencilla para tener una idea más clara de su magnitud.

Los modelos de simulación pueden procesar variables de calidad y cantidad además de integrar medidas de magnitud e importancia de impactos ambientales, estos facilitan la inclusión de varios participantes adaptándose a diferentes procesos de decisión.

La implementación de modelos de simulación tiene sus alcances y limitaciones; su principal alcance es el uso de información netamente esencial para la definición del

comportamiento del sistema, ya que agregar nuevos flujos energéticos lo complejiza y aumenta la probabilidad de error, por lo que es preferible mantenerlo lo más simple posible. Pero por otro lado la existencia en un límite de las variables o datos para construir el modelo puede representar a su vez una dificultad.

Algunos modelos utilizados en estudios de impacto ambiental

Modelos de evaluación y gerenciamiento ambiental

La construcción de este tipo de modelos permite verificar los efectos de diferentes acciones sobre un ecosistema; evaluar acciones, procurando disminuir aquellos efectos, así como evaluar las consecuencias de diferentes estrategias de gerenciamiento. Una de sus mayores limitaciones es que al ser este una simplificación del ecosistema puede fallar al intentar prever, de forma simplificada, situaciones normalmente complejas.

Modelos para los cuerpos hídricos

Los modelos más conocidos, son los implementados para estudiar los cambios de la concentración de materia orgánica a lo largo de un río (Camero et al, 2008). Es de resaltar que el siguiente modelo, contribuye de manera significativa a la obtención de resultados en la presente investigación. Sin embargo, se deben hacer algunos ajustes acordes a los objetivos establecidos.

$$-\frac{dC_t}{dt} = \frac{C_o}{t} - \frac{C_o \cdot (K_1 - K_2 - K_3)}{t}$$

Donde,

C_t = concentración de materia orgánica en un tiempo t

C_o = concentración de materia orgánica en el tiempo cero

C_o / t = tasa de desecho de materia orgánica en el río

k_1 = proporción de materia orgánica sedimentada/unidad de tiempo

k_2 = proporción de materia orgánica descompuesta cuando todavía está en suspensión en el agua

k_3 = proporción de materia orgánica asimilada por organismos descomponedores.

Modelos para calidad del aire

Los modelos más conocidos son los de dispersión gausiánica de la pluma; cuando las reacciones químicas y fotoquímicas que ocurren en la atmósfera no son importantes, estos modelos suelen ser muy eficaces, en el caso contrario, es necesario calibrar el modelo.

$$C_j(x, y, z) = \frac{Q_j}{2\pi} \cdot \bar{\mu} \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot e^{\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2 \cdot z^2}\right)} \cdot e^{\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2 \cdot z}\right)} + e^{\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2 \cdot z}\right)}$$

Donde,

C_j = concentración en el estado de equilibrio

x,y,z = coordenadas en el eje de la pluma

Q_j = tasa de emisión del contaminante

m = velocidad media del viento en la dirección x , en m/s

σ_z = coeficiente gaussiano de dispersión vertical

σ_y = coeficiente gaussiano de dispersión horizontal

H = altura de la chimenea (m)

5.1.4 Minería

El campo de la minería abarca una gama amplia de actividades donde se explota varios productos como petróleo, oro, carbón, cobre, plata, platino, níquel, uranio, gas natural, entre otros. Históricamente se ha reconocido el oro como uno de los metales preciosos más deseados por la humanidad, de hecho, este metal ha sido un símbolo de vanidad y poderío, siendo el motor para la generación de muchas guerras y conflictos (Serna, 2013).

Con respecto a la clasificación, se busca unificar los procesos de administración en temas relacionados con la inversión, el medio ambiente, el manejo del catastro minero; entre otros. En este orden de ideas clasifican la minería conservando el estándar internacional, el cual la cataloga como artesanal, pequeña, mediana y gran minería. Para la clasificación se tienen en cuenta varios aspectos como, la producción en metros cúbicos por año y toneladas por año, dependiendo el mineral explotado y, además, para efectos del otorgamiento de la licencia para la exploración y la explotación el parámetro de medición que se tiene en cuenta es el número de hectáreas que conforma la zona a intervenir (Serna, 2013).

Entre las definiciones en materia minera que entrega el Ministerio de Minas y Energía de Colombia (2015), se pueden destacar las siguientes:

Mina

1. Excavación que tiene como propósito la explotación económica de un yacimiento mineral, la cual puede ser a cielo abierto, en superficie o subterránea. 2. Yacimiento mineral y conjunto de labores, instalaciones y equipos que permiten su explotación racional. 3. El Código de Minas define "mina" como el yacimiento, formación o criadero de minerales o de materias fósiles, útil y aprovechable económicamente, ya se encuentre en el suelo o el subsuelo.

Mineral

Sustancia homogénea originada por un proceso genético natural con composición química, estructura cristalina y propiedades físicas constantes dentro de ciertos límites. 2. Individuos minerales que se caracterizan por una estructura cristalina determinada y por una composición química, que pertenecen a un rango de variaciones continuas y que se encuentran en equilibrio bajo unas condiciones termodinámicas determinadas. 3. El Código de Minas define el mineral como la sustancia cristalina, por lo general inorgánica, con características físicas y químicas propias debido a un agrupamiento atómico específico.

Minería

Ciencia, técnicas y actividades que tienen que ver con el descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales. Estrictamente hablando, el término se relaciona con los trabajos subterráneos encaminados al arranque y tratamiento de una mena o la roca asociada.

En la práctica, el término incluye las operaciones a cielo abierto, canteras, dragado aluvial y operaciones combinadas que incluyen el tratamiento y la transformación bajo tierra o en superficie. La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad, consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales a partir de la corteza terrestre. Al principio, implicaba simplemente la actividad, muy rudimentaria, de desenterrar el sílex u otras rocas. A medida que se vaciaban los yacimientos de la superficie, las excavaciones se hacían más profundas, hasta que empezó la minería subterránea. La minería de superficie se remonta a épocas mucho más antiguas que la agricultura.

Tipos de minería

El tipo de extracción minera depende de factores económicos como el valor y demanda del mineral, el estado actual del mercado y la disponibilidad de capital, por lo que puede ser subterránea o a cielo abierto.

La minería subterránea opera en una complejidad de pozos, galerías y cámaras de explotación conectados con la superficie por la que se mueven los trabajadores, las máquinas y se transporta el mineral hacia la superficie.

Por su parte, la minería a cielo abierto remueve la capa superficial de la tierra requiriendo modernos equipos de excavación, cintas transportadoras, gran maquinaria, tuberías de distribución y toneladas de explosivos para remover y triturar montañas en poco tiempo. El resultado son enormes cráteres que pueden llegar a tener más de 150 hectáreas de extensión y más de 500 metros de profundidad, siendo necesario además inmensas escombreras para los desechos generados (Rodríguez, s.f.)

5.1.5 Reseña histórica de la minería aurífera

Antes de la conquista, en Colombia los indígenas explotaban el oro y lo utilizaban para elaborar ornamentos, adornos, alhajas y utensilios domésticos, además de servir como instrumento de cambio por mercancías de todo tipo. Los conquistadores despojaron a los indígenas, saquearon sus guacas y después, por su codicia, se propusieron ir en búsqueda de yacimientos. La extracción del metal se incrementó significativamente en el siglo XVI, llegando al punto de lograr la participación de Colombia en el 40% en la producción mundial de oro para el siglo XVII (Gutiérrez, 2010). En el siguiente siglo, XVIII, empezó a disminuir llegando a 25% y así continuó limitándose la producción a 20% en el XIX y 1% en el XX; no obstante, esto no significa que la actividad minera haya disminuido, sino que esta ha aumentado a nivel mundial por el hallazgo de un sin número de yacimientos de gran magnitud (Orche & Puche, 2000).

Desde sus primeras visitas, los españoles habían evidenciado la riqueza aurífera con la que contaba el territorio en sus corrientes hídricas y en los filones de su orografía, por ello iniciaron la explotación sistemática de yacimientos. Fue así como se empezó a incrementar la producción de oro; y aunque la actividad minera del pasado no fuese tecnificada, desde su inicio significó una fuente de riqueza importante para el país (Orche & Puche, 2000).

En ese contexto, Riosucio no fue ajeno a esta realidad, pues desde la época colonial, se demostró el interés por el oro de esta área; así lo refleja El Oro, nombre del primer asentamiento antioqueño en el municipio. Este metal atrajo tanto a cazadores pobres de tesoros y mineros de aluvión como a inversionistas prósperos, lo que originó que las asociaciones mineras en Riosucio y sus alrededores siguieran un patrón similar a las de Antioquia. Una mina, incluidas

las propiedades circundantes y maquinaria, se dividía en 24 acciones que luego se dividirían entre un número menor de personas. Las minas más pequeñas eran trabajadas por los reclamantes originales y tal vez algunos miembros de familia. Empresas mineras más grandes, como las de Marmato y Quiebralomo, empleaban trabajadores provenientes en su mayoría de las poblaciones locales mestizas y afrocolombianas.

La industria minera de Riosucio era relativamente próspera, comparada con el resto del cauca en el siglo XIX. La economía minera estaba ligada a Antioquia, pues el oro local se exportaba a través de Medellín. Por su parte, los mineros británicos en Marmato tenían acceso a capital extranjero lo que permitía que pudieran mantenerse inmunes a la guerra partidista del Cauca. Sin embargo, el enclave británico formaba parte integral de la economía local de los distritos del norte.

A su vez, los empleados nacidos en el extranjero y sus contrapartes nativos expandían la industria en Marmato, Riosucio y Supía, obteniendo títulos que les daban derecho a las minas y a los bosques para combustible. Fue así como la minería del oro impulsó la privatización, la especulación con propiedad raíz, la colonización antioqueña y el comercio y, constituyó la base económica para la élite local.

En otra parte de la historia, se puede hacer alusión a lo que menciona Purificación Calvo de Vanegas en su libro “Riosucio” del año 1931. Los conquistadores realizaron trabajos de explotación de minas en varios lugares del suelo Riosuceño, principalmente en Mápura, pero también en Quiebralomo, Picará, San Juan, Supía, Loaiza y Marmato. Siendo el más

¹ Biblioteca Otto Benítez Morales de Riosucio, Caldas.

importante, por sus inmensas riquezas, el cerro de Quiebralomo ubicado en la cercanía del poblado que contaba con este mismo nombre.

Además, el gobierno colonial nombró y despachó al metalurgista don Ángel Díaz para que les diera lección a los indígenas acerca de los recientes procedimientos utilizados en el laboreo de las minas.

Ya para el año 1788, fueron enviados por el rey ocho ingenieros para trabajar en los centros mineros pertenecientes al virreinato, entre ellos el señor Báyer. De igual modo, llegó desde Popayán don Tomás Valencia en compañía de su familia; él murió años más tarde en Quiebralomo después de haberse desempeñado como síndico, procurador, alcalde, coronel de milicias y de infantería, incluso el cargo de capitán de una compañía de dragones.

En Quiebralomo fue reconocido don Antonio Mafla por ser uno de los españoles más ricos y por vigilar personalmente a sus peones sentado en un lujoso sillón; utilizaba en la frente una estrella de oro, colgaba en su cuello una talega para depositar el oro que le entregaban sus trabajadores. Sin embargo, quedó reducido a la miseria después de haber cedido su fortuna a una señora de edad para que se la guardara. A esta vereda también llegaron varias familias provenientes de Santander para realizar trabajos en la mina de San Bartolo.

Otra mina reconocida en el sector, llamada Gavia, fue titulada en el año 1865 por la secretaría de Popayán a los señores Marcos Hernández, Juan de Guevara y otros; la cual fue heredada más adelante a sus hijos quienes la vendieron a don Bartolomé Chávez. Mientras él tuvo a su nombre esta mina realizó una explotación en pequeño; no obstante, en la administración de don Juan de la Cruz Escobar se obtuvo muy buen rendimiento.

En el periodo transcurrido entre los años 1906 y 1911, la mina fue explotada, en arrendamiento, por la sociedad de B. de la Roche y compañía, bajo la gerencia de don Bartolomé de la Roche y, aunque trabajando en pequeño, se generaron cantidades considerables de oro. En este último año, el arrendamiento pasó a nombre del señor Gabriel de la Roche continuando con las mismas condiciones de trabajo, a diferencia que éste fue adquiriendo más acciones a través de la compra a los herederos de don Bartolomé Chávez y a otras personas convirtiéndose así en el único dueño antes del año 1914.

Así, para el año 1914 comenzó a realizar un montaje más adecuado con la instalación de maquinaria y apertura de nuevas guías. En el año 1917, había ampliado más el montaje en general produciendo un rendimiento sin precedentes, más de 25 arrobas.

En 1924 la mina produjo 16 arrobas. Diez años más tarde, se fundó la sociedad De la Roche & Gavia CIA. S.A. conformada por Gabriel Roche Ch., sus hijos y Joaquín Cruz R. con el objetivo de seguir el proceso de explotación por cincuenta años más.

En la década de los 90's, esta mina se encontraba ubicada entre Quiebralomo y Tumbabarreto en el municipio Riosucio, Caldas, a 2 Km de la población; contando con dos molinos, un arrastre, ocho bocas de mina bien ventiladas, aseguradas y algunas con más de 2000 metros de guías, oficinas, bodegas, carpintería, fragua, cortaderos de madera, entre otras cosas, pero no campamentos debido a que los trabajadores residían cerca al lugar, por lo cual se alimentaban y dormían en sus viviendas.

A pesar de que allí se daba variedad de minerales, había dificultades para adquirir maquinaria adecuada y los impuestos del gobierno hacia las empresas mineras, imposibilitaba

el establecimiento de trabajos costosos aun cuando se tuviera certeza de los buenos resultados esperados. Sin embargo, la producción mensual no se podía calcular debido a que los minerales no se encontraban permanentemente, y en ocasiones se demoraban en aparecer.

Debido a la gran producción de oro en minas como Gavia, varios españoles decidieron establecerse en las zonas aledañas entrando por el Alto del Espino y de allí al Alto de Morón, después hacia el sector de Las Pilas. Según la tradición, este nombre proviene de las grandes pilas donde se purificaba el caliche para el blanqueamiento de las casas, el cual era sacado de una mina que se hallaba en este lugar.

En ese sentido, también es importante hablar un poco de la fundación de Quiebralomo que data del siglo XVI, aunque inicialmente tenía el nombre de San Sebastián y allí habitaban los mineros españoles (y sus peones) que habían fundado Las Pilas, pero fue trasladada a un lugar llamado Quiebralomo, sitio poblado por habitantes de diferentes partes del país. La cantidad que se producía de oro sorprendió gratamente al rey, por lo que dio el título de Real de minas de San Sebastián, al cual agregó después el de Quiebralomo.

El nombre Quiebralomo tuvo origen en un accidente que sufrió un buey donde se quebró el lomo después de rodar por un precipicio cargado con costales de oro, lo cuales iban con destino a la mina de La Ciénaga. La rápida decadencia de este centro minero se dio como resultado del triunfo de las fuerzas libertadoras en agosto de 1819, dando lugar además al éxodo de los españoles y granadinos que habían habitado allí atraídos por las riquezas sus minas ya que producían grandes cantidades de oro.

5.2 Marco normativo

En Colombia, con la **Ley 99 de 1993** se resalta entre los fundamentos de la política ambiental nacional, la elaboración de estudios de impacto ambiental como instrumento básico para la toma de decisiones concernientes a actividades que afecten significativamente al ambiente. En este sentido, es pertinente mencionar el **Decreto 1753 de 1994**, el cual es reglamentario del título VIII de dicha Ley donde se ha definido el proceso de EIA como instrumento de planificación del entorno. De igual modo, el **Decreto 2041 de 2014** reglamenta este mismo título, aunque en tema de licenciamiento ambiental, especificando en su artículo 49 la obligatoriedad de la licencia para el desarrollo de cualquier actividad que pueda producir deterioro en cualquier componente ambiental.

En el artículo 27 del **Decreto 2811 de 1974**, Código Nacional de los Recursos Naturales, se establece que una persona sea natural o jurídica, pública o privada, que proyecte o realice cualquier obra o actividad susceptible de producir deterioro ambiental, está obligada a declarar el peligro presumible que sea consecuencia de la obra o actividad. Igualmente, el artículo 28 señala que, para la ejecución de obras, el establecimiento de industrias, o el desarrollo de cualquier otra actividad que, por sus características, pueda producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al ambiente o introducir modificaciones considerables notorias al paisaje, será necesario el estudio ecológico y ambiental previo y, además, obtener licencia.

La actividad minera del país está regulada por la **Ley 685 de 2001**, la cual tiene como objetivos fomentar la exploración técnica y la explotación de los recursos mineros de propiedad estatal y privada; promover dichas actividades con el fin de satisfacer los requerimientos de la demanda interna y externa de los mismos ya que su aprovechamiento se debe realizar en forma armónica con los principios y normas de explotación racional de los componentes naturales no renovables y del ambiente, dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible y del fortalecimiento económico y social del país. Asimismo, en su artículo 78 se estipula que los trabajos de exploración son los necesarios para establecer y determinar la existencia y ubicación de los minerales, la geometría del depósito en el área de la concesión, la cantidad y calidad económicamente explotable, la viabilidad técnica de extraerlos y el impacto que sobre el medio ambiente y el entorno social puedan causar estos trabajos y obras.

De igual modo, la **guía minero-ambiental** es el instrumento de referencia para el manejo ambiental, por lo tanto, el concesionario deberá ajustarla a las características y condiciones específicas del área solicitada. Allí se especifica que antes de iniciar los trabajos de exploración se deberá diligenciar el formato de inscripción de las medidas de manejo ambiental, de acuerdo con la guía y con la reglamentación expedida por el Ministerio de Medio Ambiente.

Asimismo, en el **Decreto 1481 de 1996** se estipula que en los eventos en los cuales se celebren contratos de exploración y explotación, se inscribirán con la aprobación del plan de manejo ambiental con la anotación: 'Contrato en exploración', la cual será levantada tan pronto como se allegue la correspondiente licencia ambiental, para efectos de iniciar la etapa de explotación.

A su vez, el **Decreto 501 de 1995** dispone que cuando dentro del área aportada se pretendan realizar labores de exploración directamente por las entidades titulares del aporte o a través de contratos con terceros, la entidad titular del aporte o el contratista, según quien vaya a ejecutar la actividad minera, deberá allegar la aprobación del plan de manejo ambiental.

En lo que respecta al **Decreto 1728 de 2002**, los trabajos de exploración minera estarán sujetos a la guía ambiental y el seguimiento será competencia de las Corporaciones Autónomas Regionales o Grandes Centros Urbanos, quienes tendrán en cuenta la reglamentación que para estos efectos expida el Ministerio de Medio Ambiente.

Así también en la **Ley 79 de 1986**, se prevé la conservación de agua y se dictan otras disposiciones; además de la expedición del decreto único reglamentario del sector ambiente y el desarrollo sostenible, **Decreto 1076 de 2015**.

6. METODOLOGÍA

La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno. A lo largo de la historia de la ciencia han surgido diversas corrientes de pensamiento como el empirismo, el materialismo dialéctico, el positivismo, la fenomenología, el estructuralismo y diversos marcos interpretativos, como la etnografía y el constructivismo, que han originado diferentes rutas en la búsqueda del conocimiento. Sin embargo, y debido a las diferentes premisas que las sustentan, desde el siglo pasado tales corrientes se han “polarizado” en dos aproximaciones principales: el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo de la investigación.

La metodología **cualitativa** utiliza métodos inductivos en los cuales se establecen conclusiones generales partiendo de casos específicos o contextos particulares. Las descripciones se obtienen por medio de observaciones en forma de entrevistas, notas de campo, transcripciones de audio, fotografías, escritos de todo tipo, entre otros. En esta investigación es de gran utilidad la implementación del enfoque cualitativo ya que es frecuentemente utilizado en el campo interdisciplinar; además se puede tener una visión holística de la situación estudio.

El enfoque **cuantitativo** es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no puede omitir pasos, aunque si puede redefinir alguna fase. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se desarrolla un plan para probarlas; se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando con frecuencia métodos estadísticos y se establece una serie de conclusiones respecto de las hipótesis.

Para responder al planteamiento del problema de la presente investigación, se requirió el análisis y vinculación de variables cualitativas y cuantitativas, por lo que, se implementó un enfoque cuali-cuantitativo, permitiendo, por un lado, corregir los sesgos propios de cada método y por el otro, incrementar y facilitar la comprensión del sistema.

Caracterización de las actividades desarrolladas en la fase de exploración minera aurífera a gran escala

Para la caracterización de las actividades se realizó la recolección de información secundaria, mediante un análisis documental y la implementación de fuentes de información secundaria como libros, revistas e información virtual. Este objetivo permitió establecer los aspectos ambientales derivados de la fase exploratoria de la minería aurífera a gran escala para la posterior evaluación de los impactos ambientales. Cabe destacar que, para poder obtener información más precisa sobre las actividades de exploración, fue necesario acudir a personas con experiencia en el tema.

Aproximación diagnóstica en términos de oferta y demanda del componente hídrico en sector Las Pilas del municipio de Riosucio, Caldas para la valoración de los impactos ambientales

Para diagnosticar el componente hídrico se hizo necesario la recolección tanto de información primaria como secundaria, por lo cual se realizaron visitas a la zona de estudio. La observación simple, las entrevistas semiestructuradas y la construcción cartográfica dieron paso a la definición de las variables claves que, en complemento con la caracterización de las actividades de la fase exploratoria de la minería aurífera, permitieron llevar a cabo la evaluación de impactos ambientales.

Implementación del modelo de simulación para la evaluación del impacto ambiental del componente hídrico

Para el cumplimiento de este objetivo fue precisa la recolección de información secundaria que, acompañada con asesorías a expertos, dio paso a la construcción del modelo para la simulación de impactos ambientales y su validación. Todo lo anterior fue posible

mediante la implementación de diferentes herramientas como fueron fuentes de información secundaria, grabadora, blog de notas, software y computador.

En el cuadro 2 se presenta el proceso desarrollado en el cumplimiento de cada objetivo específico, para lo cual se establecieron las actividades, técnicas y herramientas pertinentes para la investigación.

Cuadro 2. Diseño metodológico

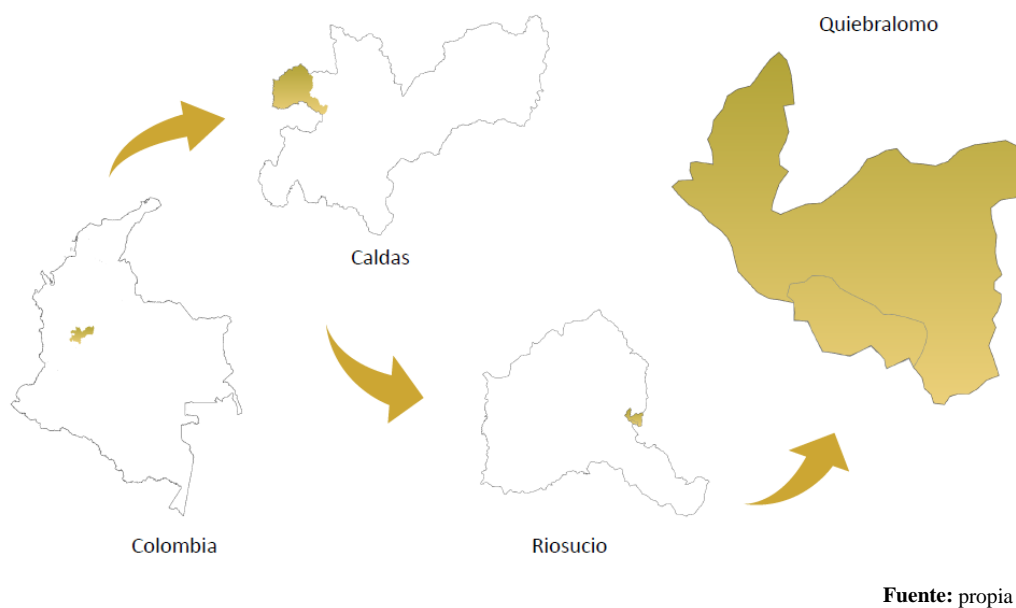
Objetivos específicos	Actividades	Técnicas	Herramientas
Caracterizar las actividades desarrolladas en la fase de exploración minera aurífera a gran escala	Recolección de información secundaria	Análisis documental	Fuentes de información secundaria: libros, información virtual.
Diagnosticar en términos de oferta y demanda el componente hídrico del sector Las Pilas del municipio Riosucio, Caldas que permitan la valoración de los impactos ambientales.	Recolección de información primaria	Observación simple	Guía diario de campo, cámara fotográfica.
		Entrevista semiestructurada	Formato entrevista, grabadora
	Construcción de cartografía	Cartografía básica	QGIS
Implementar un modelo de simulación para la evaluación de impacto ambiental en el componente hídrico.	Recolección de información secundaria	Análisis documental	Fuentes de información secundaria: libros, información virtual.
	Asesoría con expertos	Consulta a expertos	Blog de notas, grabadora
	Ajustar el modelo de simulación		Computador, Software
	Evaluar el modelo de simulación		

Fuente: propia

6.1 Localización área de estudio

El trabajo investigativo se llevó a cabo en el sector Las Pilas de la vereda Quiebralomo del municipio de Riosucio Caldas, ubicado en el costado noroccidental del departamento, sobre la vertiente oriental de la cordillera Occidental en forma descendente hacia el Río Cauca. El municipio limita al norte con Jardín y Támesis Antioquia, al sur con Guática y Quinchía Risaralda, al oriente con Filadelfia y Supía Caldas y al occidente con Mistrató Risaralda.

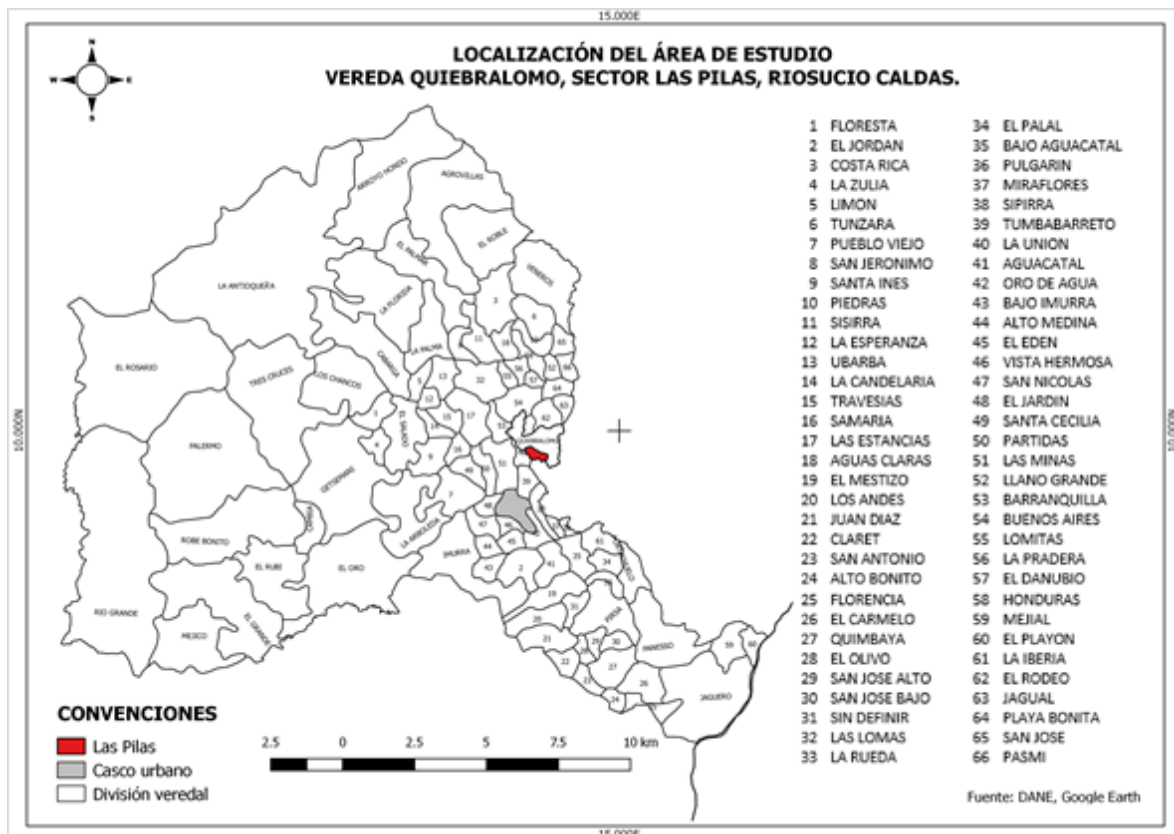
Figura 1. Localización vereda Quiebralomo



La vereda se encuentra ubicada a 5 km de la cabecera municipal y pertenece al resguardo indígena Cañamomo Lomapieta, el cual se vio inmerso en un proceso legal entorno a una concesión para desarrollar la fase de exploración minera aurífera en el municipio, obtenida por

la empresa Anglo Gold Ashanti Colombia S.A., quien la cedió a la Compañía Minera Seafield S.A.S en junio del 2010. Sin embargo, la compañía renunció a la concesión el 23 de julio 2014, debido al accionar de la comunidad indígena que no permitió el acceso de personal técnico al área del título.

Figura 2. Localización sector Las Pilas

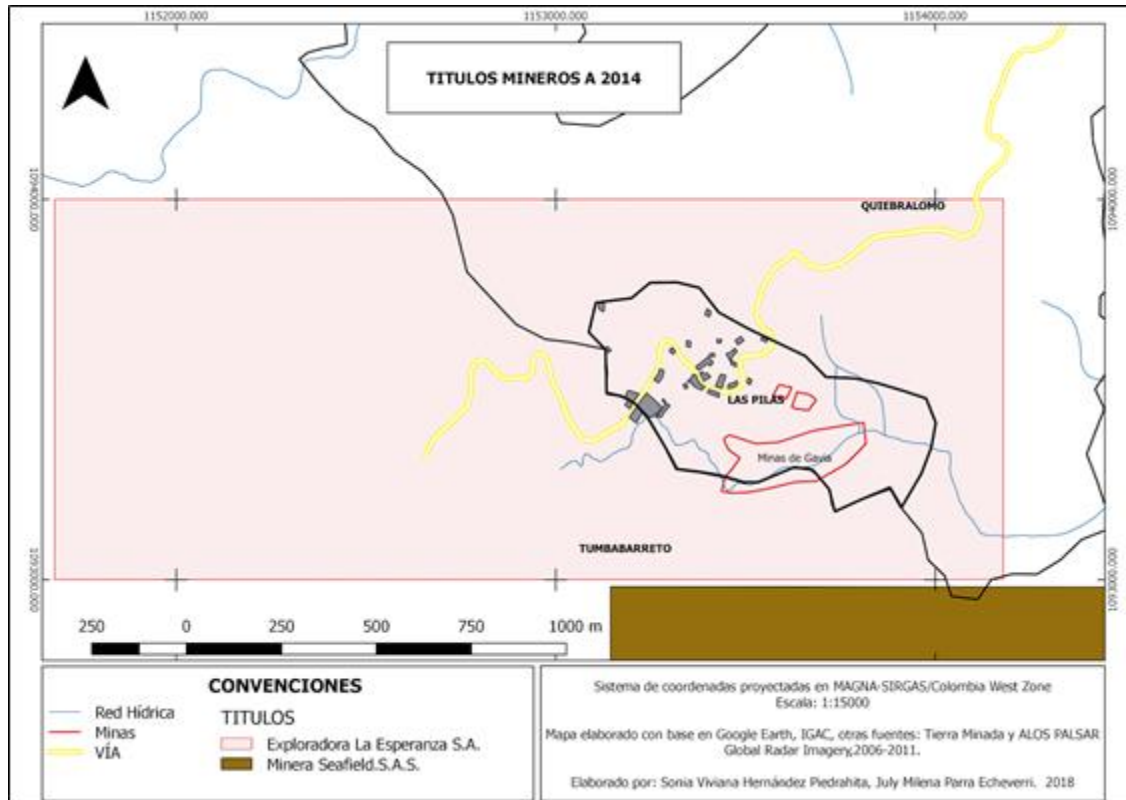


Fuente: propia

Las Pilas, por su parte, figura actualmente dentro del área de concesión otorgada a la empresa Exploradora la Esperanza en el año 1996, con registro minero GBVL-01 (Figura 3), la cual adelantó actividades de exploración durante un periodo de seis meses en 250 ha. que comprenden las minas de Gavia y Vendecabezas, lugares donde se ha desarrollado la actividad minera de forma tradicional. Los resultados de esta exploración se dieron a conocer en 1997, donde se informa el descubrimiento de dos anomalías de oro de gran tamaño separadas por una

distancia de 1000 metros, con un potencial de 20 millones de onzas (Iván Díaz Iglesias. Comunicación personal. 8 de marzo de 2018).

Figura 3. Concesión Exploradora la Esperanza



Fuente: propia

7. RESULTADOS

7.1 Caracterización de las actividades desarrolladas en la fase de exploración minera en Colombia

Los Ministerios de Medio Ambiente y de Minas y Energía, iniciaron en el año 2001 la construcción de la **guía minero-ambiental** como herramienta primordial para los procesos de evaluación y seguimiento de los contratos de concesión, enmarcada en una visión prospectiva en beneficio del sector donde prime la preservación del medio ambiente. Dicha guía se divide en tres partes que conforman un referente técnico de gestión ambiental para las fases de

exploración, explotación, ya sea a cielo abierto o subterránea, y de beneficio y transformación de minerales.

La Guía de Exploración es una herramienta de consulta y orientación conceptual y metodológica para mejorar la gestión, manejo y desempeño minero-ambiental. Es realizada con el propósito de introducir al concesionario en los aspectos pertinentes al desarrollo de un programa de exploración basado en los Términos de Referencia mineros establecidos por el Estado a través de sus entes delegados y que los concesionarios mineros adopten los lineamientos planteados en esta guía a las características específicas y a las condiciones del área solicitada para exploración, a través de un manejo ambiental específico (MMA y MME, 2001).

7.1.1 Fase I. Exploración geológica de superficie

La exploración se caracteriza por aplicar técnicas geológicas, geofísicas y geoquímicas a cierto nivel de detalle, sin generar impactos sustanciales en el medio ambiente debido a su temporalidad; es por esto que no se hace necesaria la elaboración de estudios de impacto ambiental. El desarrollo de esta etapa implica acciones generales con sus respectivas actividades.

7.1.2 Fase II. Exploración geológica del subsuelo

En esta fase se pretende delimitar el depósito con potencial económico, así como estimativos más específicos de tamaño y contenido mineral, definiendo el verdadero potencial geológico minero del yacimiento.

Después de haberse definido la viabilidad técnica, el concesionario minero debe manifestar su compromiso de realizar las actividades propias de esta fase siguiendo la Guía Minero Ambiental. En caso de que los trabajos de exploración geológica del subsuelo requieran el aprovechamiento de elementos naturales renovables, se deberá obtener la concesión o autorización ambiental de la autoridad competente y esta guía se anexará a la autorización respectiva.

7.1.3 Fase III. Evaluación y Modelo Geológico

De acuerdo con las fases anteriores se logra definir el potencial del yacimiento y diseñar los planes de trabajo y obras. Se debe realizar mapas, planos y perfiles geológicos a escala de detalle, así como calcular y categorizar las reservas del yacimiento o depósito siguiendo las normas y procedimientos establecidos tanto nacional como internacionalmente. Posteriormente, se evalúa la calidad y el tenor del yacimiento y se establece el comportamiento hidrogeológico y geotécnico de las rocas para fijar criterios que permitan diseñar los sistemas de drenaje, desagüe, despresurización y estabilidad de taludes de las explotaciones.

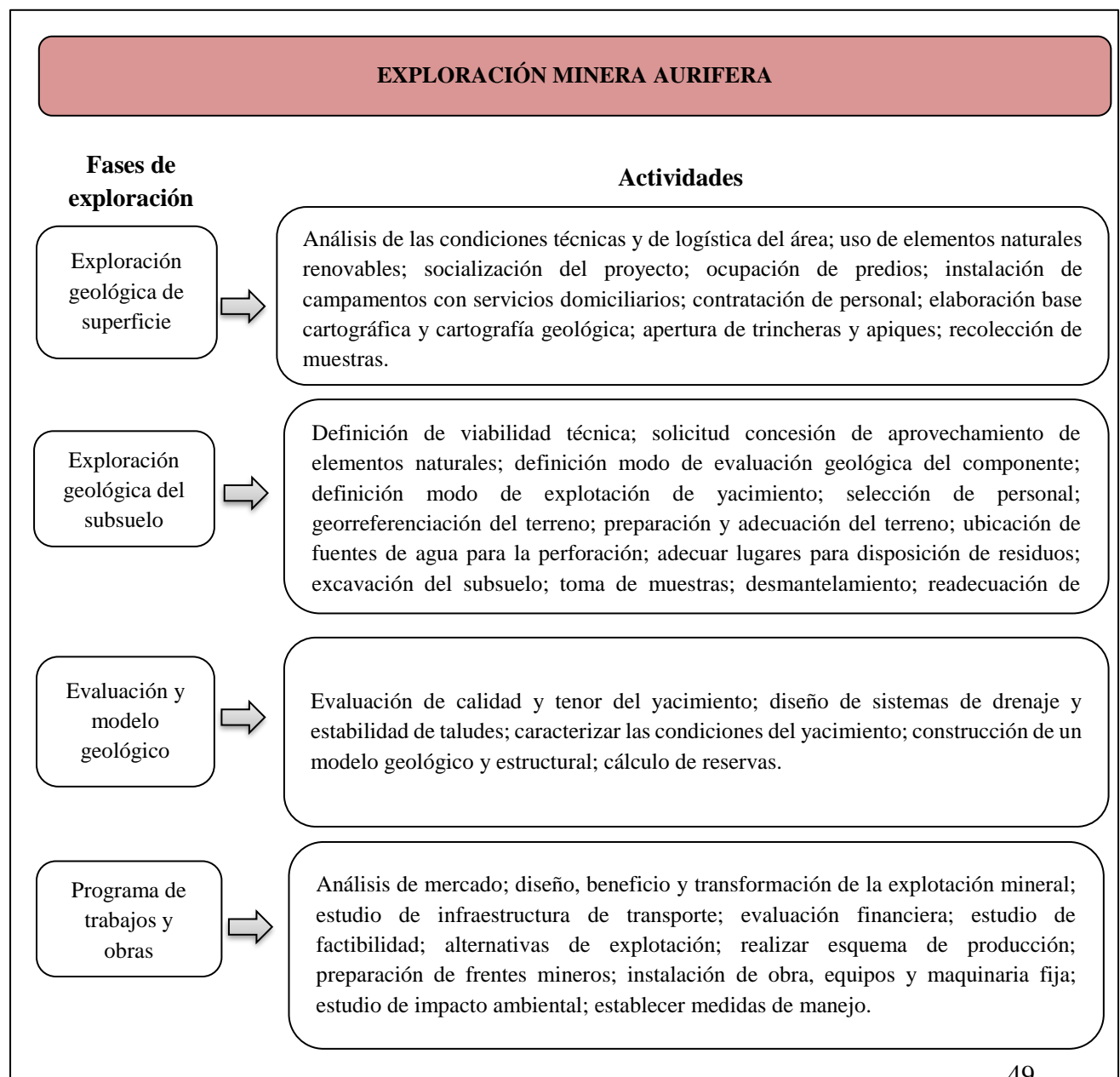
7.1.4 Fase IV. Programa de Trabajos y Obras

Del Programa de Trabajos y Obras (PTO) depende la decisión de invertir y desarrollar un proyecto minero, por lo que este debe involucrar, un análisis de mercado, el diseño de la explotación mineral, el beneficio y su transformación, el estudio de la infraestructura de transporte y, por último, la evaluación financiera. Por su parte, el estudio que demuestra la factibilidad ambiental del proyecto se convierte en un factor clave para el inicio a la fase de explotación. Al haber finalizado las actividades de exploración se debe presentar la

delimitación definitiva del área contratada que va a quedar vinculada a los trabajos de explotación.

En la figura 4 se muestra de forma resumida las cuatro fases que conforman la exploración minera, establecidas en la guía minero-ambiental colombiana con sus respectivas actividades.

Figura 4. Fases de exploración minera



En este sentido, acorde a la información obtenida se logran diferenciar las actividades de la exploración aurífera potencialmente impactantes al componente hídrico, las cuales corresponden principalmente a la exploración geológica de superficie. Esta fase por sus requerimientos puede afectar de manera directa e indirecta las fuentes que abastecen la demanda hídrica del sector, produciendo agotamiento y reducción en su calidad por el depósito de sólidos y químicos resultantes de las actividades desarrolladas. A continuación, se describen con mayor detalle las actividades que sobresalen por su relación con el componente hídrico.

7.1.5 Exploración geológica superficial

Operación de campo

Construcción, adecuación y/o operación de campamentos y helipuertos

Los campamentos funcionan como albergue del personal, conformado por 25 personas encargadas de realizar las labores en caso de hacer la exploración en Riosucio, Caldas; y como centros de operación para coordinar las actividades de los trabajos de exploración. Por lo tanto, deben reunir condiciones adecuadas de salubridad y operatividad contando con servicios de energía, agua potable y sanitarios. El agua para abastecer la demanda de los campamentos proviene del acueducto comunitario del sector Las Pilas de la vereda Quiebralomo con una concesión de 0.1 L/s.

Para esta acción es necesario desmontar, descapotar, excavar y nivelar el terreno, para lo cual se implementan herramientas manuales como palas, azadones, picas, barras, mezcladoras y en algunos casos equipo mecánico como bulldozer y volquetas.

Apertura de trincheras y apiques

Consiste en una excavación somera que comienza eliminando la cobertura superficial para describir u obtener una porción física de la roca fresca y poder analizar las características geológicas superficiales de la zona bajo estudio. Esta labor se realiza generalmente de manera manual con palas, azadones, picas, barras y machetes. Sin embargo, en algunas ocasiones las circunstancias exigen que se ejecuten por medios mecánicos implementando bulldozer y retroexcavadoras.

Geofísica

La geofísica es una ciencia derivada de la geología que trata del estudio de las propiedades físicas de la Tierra. Comprende aspectos como la investigación de la composición interna del planeta, el flujo de calor proveniente de su interior, la fuerza de la gravedad que forma el campo gravitacional, la fuerza magnética de atracción ejercida por un magneto ideal en el interior de la tierra que crea el campo geomagnético y la propagación de las ondas sísmicas a través de las rocas de la corteza terrestre (SGM, 2016).

La exploración y búsqueda de yacimientos minerales metálicos y en especial la prospección para oro requiere de un estudio detallado que incluye la utilización de métodos de investigación y exploración directos como: geología de superficie y perforaciones, muestreo

geoquímico y métodos indirectos como la geofísica, la cual se basa en mediciones indirectas sobre el terreno o área a prospectar (SGM, 2016).

Se deduce entonces, la importancia que tiene un procedimiento que permita establecer el punto y hondura donde se halle una masa de buena conductibilidad eléctrica que pueda corresponder al metal buscado. En este caso, la predicción es de enorme valor porque permite al minero dirigir sus trabajos de reconocimiento directamente hacia el punto estratégico evitando gastos en socavones y piques labrados en todas las direcciones. Para una comunidad minera que se ha formado para la exploración de algún depósito mineral, el estudio geofísico preliminar permite establecer un plan exacto de trabajo fijando los gastos necesarios para determinar si el yacimiento es explotable (SGM, 2016).

Después del reconocimiento geofísico, se pueden señalar los puntos donde hay masas de buena conductibilidad además de los metros de socavón y de pique necesarios para alcanzarlos, logrando entonces definir si hay un yacimiento explotable o no (SGM, 2016).

Las diversas técnicas y campo de aplicación comprenden² **métodos eléctricos** que se basan en el estudio de la conductividad del terreno mediante un sistema de introducción de corriente al mismo y otro de medida de la resistividad/conductividad; **métodos electromagnéticos** que tienen su base en el estudio de otras propiedades eléctricas o electromagnéticas del terreno; **métodos magnéticos** basados en la medida del campo magnético sobre el terreno, el cual puede verse afectado por las rocas existentes en un punto determinado, sobre todo si existen en la misma minerales ferromagnéticos, como la magnetita o la pirrotina; **métodos gravimétricos**

² Universidad de Medellín. Exploración Minera. <http://www.medellin.unal.edu.co/~rodriguez/yacimientos-higuera/ymexploracion.htm>

que se basan en la medida del campo gravitatorio terrestre, el cual puede estar modificado de sus valores normales por la presencia de rocas específicas de densidad distinta a la normal; **métodos radiométricos** basados en la detección de radioactividad emitida por el terreno utilizados fundamentalmente para la prospección de yacimientos de uranio, aunque excepcionalmente se pueden utilizar como método indirecto para otros elementos o rocas y se puede medir sobre el propio terreno o desde el aire; **sísmica** donde la transmisión de las ondas sísmicas por el terreno está sujeta a una serie de postulados en los que intervienen parámetros relacionados con la naturaleza de las rocas que atraviesan. De esta forma, si se causan pequeños movimientos sísmicos mediante explosiones o caída de objetos pesados y se analizan la distribución de las ondas sísmicas hasta puntos de medida estratégicamente situados, se pueden establecer conclusiones sobre la naturaleza de las rocas del subsuelo.

Muestreo

En esta etapa se recolectan pequeñas porciones de material geológico o botánico, con fines descriptivos o de cuantificación analítica. Las muestras pueden ser de carácter general correspondientes a la toma de pequeñas porciones de material vegetal, agua, sedimentos de corriente, suelo, roca alterada o roca fresca o especial que responde a la colección de materiales geológicos específicos como fósiles, minerales especiales para determinaciones radiométricas, cuantificación de contenidos minerales en volumen o en cantidades que exceden los promedios de las muestras generales.

La toma de muestras se realiza directa y exclusivamente en campo por personal de base debidamente entrenado y bajo supervisión técnica. Normalmente se realiza de manera manual, aunque en ocasiones se puede requerir el uso de maquinaria o de explosivos. El material

obtenido es sometido a una preparación preliminar antes de ser remitido a los laboratorios, lo que contempla procesos de homogeneización y cuarteo, para reducir técnicamente el volumen inicial de la muestra colectada. Aunque las afectaciones causadas al medio por estas labores son mínimas, es necesario entrenar personal auxiliar que proceda con un correcto criterio técnico y ambiental, puesto que el muestreo y análisis deben seguir normas y estándares aceptados internacionalmente.

7.1.6 Exploración geológica del subsuelo

Operación de campo

Fabricación piscinas de lodo

En el proceso de exploración minera es necesario realizar perforaciones con el fin de obtener información para caracterizar el mineral u obtener agua. Producto de éste, se genera lodo que es una sustancia con propiedades reológicas controladas, la cual es transportada por la sarta del taladro bajando por la broca y regresando por el espacio anular a la superficie. Una de las funciones más importantes es trasladar ripios de perforación a la superficie donde se separan con la sacudidora de arcilla esquistosa, combinación de trampas de arena, centrífugas y limpiadores de arena. Uno de los fluidos más comúnmente utilizados para la formación del lodo es agua dulce. Finalmente, se reacondiciona el lodo para ser usado nuevamente. Cuando el pozo esté terminado, el barro es arrojado a la fosa de reserva donde también llegan sustancias químicas como bentonita, barita, soda caústica, cloruro de sodio, de calcio y de potasio además de numerosos polímeros orgánicos (De Viana, s.f.).

Suministro de agua para perforación

En las actividades de perforación, uno de los insumos más importantes y de mayor uso es el agua; para lo cual se deben tramitar permisos o autorizaciones para su extracción en las zonas aledañas a la exploración. Los demás elementos biodegradables utilizados tienen la función de brindar mayor estabilidad y rapidez a la perforación. Entre los más utilizados está la bentonita que es una arcilla sintética de silicato aluminico hidratado, inerte y biodegradable, cuya función es evitar que las paredes del hoyo se desmoronen mientras que la máquina perforadora va ingresando al subsuelo; pues su acción consiste en sellar las paredes y ayudar a que la máquina no tenga inconvenientes al aumentar la profundidad de la perforación.

El agua empleada en la máquina perforadora se mantiene en un sistema de recirculación. Después de realizada la perforación, se forma un lodo a partir de la mezcla de agua y los otros insumos, el cual es llevado a unas pozas de sedimentación; posteriormente se bombea el agua para ser utilizada nuevamente en la perforación. De este modo, es posible dar uso racional al agua.

Durante los siete meses de duración del proceso de exploración en el sector Las Pilas son necesarios 12 m³ mensuales de agua para el funcionamiento de la máquina en la perforación, los cuales provienen de la quebrada San Sebastián donde se tiene solicitud de concesión de 1 L/s, agua que no es consumida totalmente ya que la mayor cantidad es retornada a la quebrada sin ningún tipo de uso debido al proceso de recirculación implementado por la compañía minera.

También es una realidad que para el funcionamiento de la máquina se utiliza combustible y grasas, que, en caso de que sean derramados, afectarían el suelo o algún cuerpo de agua

próximo. Es por esto que los estudios ambientales plantean medidas de manejo, acciones preventivas y planes de contingencias para estos eventos. Por lo que se puede deducir que el mayor impacto que se va a realizar en el agua es por la necesidad de consumirla de alguna fuente cercana.

Pozos y galerías exploratorias

En caso de requerirse la construcción de pozos, galerías o cruzadas, se deben especificar los resultados esperados, características técnicas, su justificación, ubicación topográfica además de la verificación sobre la continuidad de las sustancias mineralizadas en profundidad; que permitan la obtención de una primera aproximación de la geometría y reservas del yacimiento.

En el programa de exploración se debe anexar la descripción de los tipos de perforaciones a realizar, tipo de equipos, localización, profundidad y diámetros. En caso de ser necesario, tomar muestras de mantos, cuerpos y sustancias mineralizadas, sitios de alteración hidrotermal para análisis químicos, geotécnicos y físicos.

7.2 Aspectos ambientales

El análisis de la información permite identificar aquellas acciones (actividades, operaciones, procedimientos, elementos, aspectos, tareas, etc.) del proyecto que se relacionan en cierta medida con el ambiente, al ocasionar de forma directa o indirecta cambios en algunos de sus componentes. Estas acciones son denominadas: acciones susceptibles de producir impacto (ASPI). Como consecuencia de las ASPI, se producen aspectos ambientales (cuadro

3) definidos como cualquier elemento que puede interactuar con el entorno, indicando la existencia potencial de un impacto ambiental negativo o positivo.

Cuadro 3. Aspectos Ambientales

Fase	Actividades	Subactividades	Aspectos	Impactos potenciales
Exploración geológica de superficie	Operación de campo	Construcción y adecuación de campamentos	Intervención de cauces	Agotamiento de fuentes hídricas
			Vertimientos	Contaminación hídrica
		Acceso a servicios públicos	Consumo de agua	Agotamiento de fuentes hídricas
		Apertura de trincheras y apiques	Generación de residuos	Contaminación por sólidos y químicos en el agua.
		Suministro de agua para perforación	Consumo de agua	Agotamiento de fuentes hídricas

Fuente: propia

7.3 Caracterización del territorio

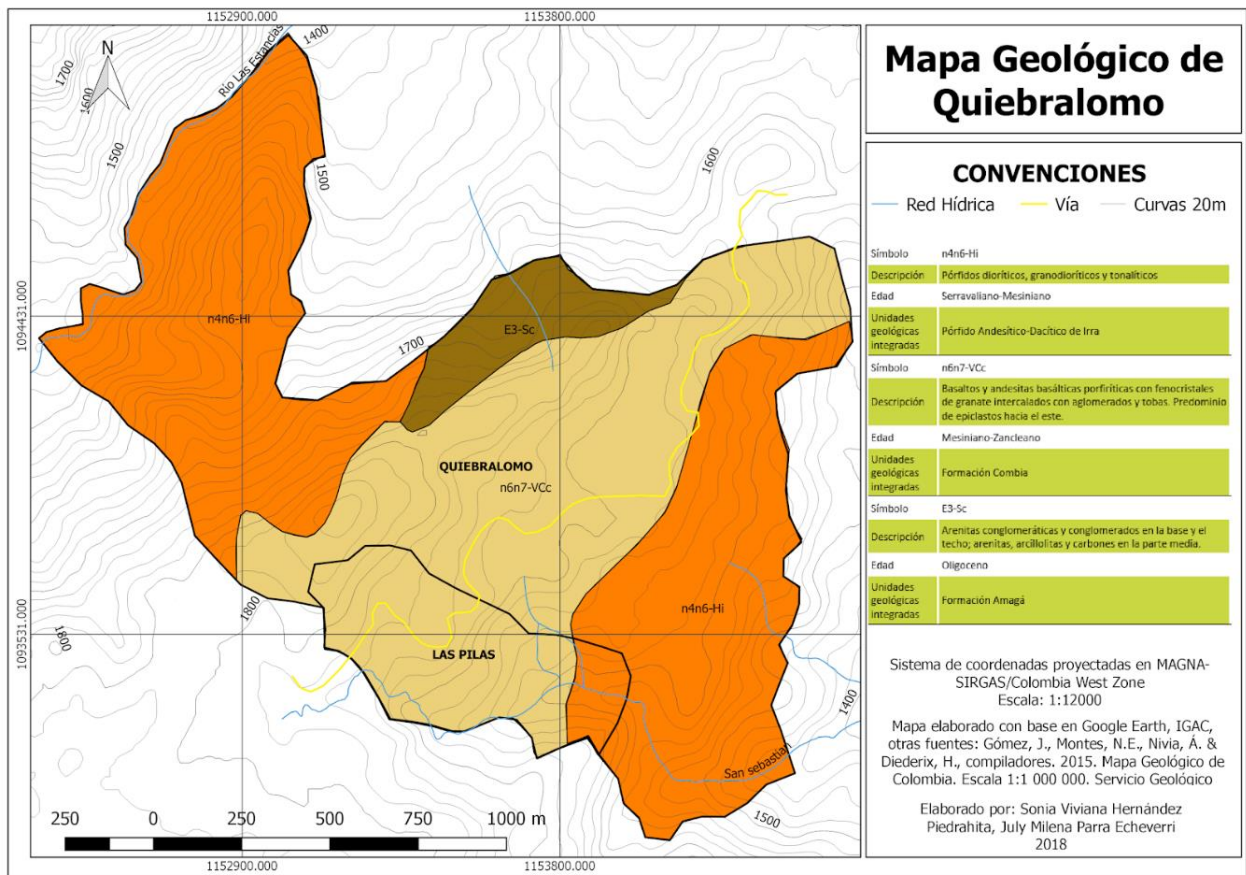
7.3.1 Biofísica

Geología

Sobre la vertiente occidental de la cordillera Central y la Oriental de la cordillera Occidental, en especial a lo largo de la depresión del Cauca, afloran intrusivos que representan el magmatismo Cretáceo-Terciario y que constituye geoformas sobresalientes interpretadas como antiguos cuellos volcánicos que intruyen terrenos sedimentarios que conforman la formación Amagá. El sistema de fallas Cauca-Romeral sirvió de canal para la migración del magma que originó estos cuerpos. Referente al municipio, es posible encontrar rocas de gran variedad tales como ígneas, volcánicas y sedimentarias (Buitrago et al., 2003).

Por su parte, en la vereda Quiebralomo afloran arenitas de tamaño medio a grueso de color amarillo y lodolitas de color ocre pertenecientes a la Formación Amagá, en contacto discordante con un pórfido andesítico. Las formaciones superficiales que se pueden observar son el saprolito del pórfido andesítico y de la Formación Amagá (Buitrago et al., 2003)

Figura 5. Mapa Geológico vereda Quiebralomo



Fuente: propia

Rocas ígneas

Pórfido Andesítico Hornbléndico (Tpa): Son cuerpos de textura porfírica, con fenocristales de plagioclasa y hornblenda en una masa afanítica de color gris claro. Estas rocas conforman cerros con grandes escarpes, entre ellos se destacan los cerros Ingrumá, Batero y Clavijo. Entre los afloramientos más importantes se localizan el casco urbano de cerca al área de estudio (Buitrago et al., 2003).

Pórfido Dacítico (Td): Sus principales exposiciones se encuentran al este y norte del municipio. Son rocas de color gris medio a claro, con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y hornblenda. Las edades de estas rocas se han estimado en 6.8 ± 0.2 m.a (Buitrago et al., 2003).

Parte de las unidades litológicas expuestas incluyen las formaciones de rocas ígneas pórfido dacítico, con cuerpos intrusivos pequeños y diques de composición dacítico-andesítica (terciario superior), diques de brechas hidrotermales y cuerpos menores, aparentemente relacionados especial y cinéticamente con la mineralización aurífera (Betancur, 2009).

Rocas sedimentarias

Formación Combia (Tmc): Unidad constituida por un alto porcentaje de material piroclástico (aglomerados, brechas y tobas) con intercalaciones menores de flujos de lavas básicas y hacia el techo de rocas volcanoclásticas. Aflora a lo largo de la depresión del Cauca entre las cordilleras Central y Occidental, teniendo su mayor espesor y mejores afloramientos al oeste de Supía y Riosucio en el flanco oriental de la cordillera Occidental.

Las rocas del miembro inferior de esta formación reposan en discordancia sobre el miembro superior de la Formación Amagá y son intruidas por pórfidos del Plioceno. Presenta afloramientos de brechas volcánicas, aglomerados, flujos basálticos vesiculares, tobas líticas y areniscas tobáceas. La parte superior de la unidad generalmente está mal consolidada siendo comunes clastos de rocas porfiríticas.

Las brechas volcánicas y aglomerados están constituidos por fragmentos de basaltos, pórfidos andesíticos, tobas y pómez en tamaños desde 4 mm hasta más de 2 mts. con mala

selección y gradación nula, en una matriz de vidrio, cristales y lítico tamaño ceniza. La roca fresca presenta un color gris claro; cuando está alterada los fragmentos adquieren color gris oscuro, café y verde y la matriz un color rojizo (Buitrago et al., 2003).

Formación Amagá – Miembro Superior (tos): se caracteriza por la carencia completa de conglomerados y el gran predominio de areniscas que presenta una estratificación muy gruesa, generalmente mayores de 0.20 m, alcanzando espesores hasta de 10 m. Son de color gris azulado a gris verdoso cuando están frescas y gris amarillento cuando están meteorizadas, el tamaño de grano varía de fino a medio y son de poca dureza. Localmente pueden ser conglomeráticas y presentar interdigitaciones de lentes de diferente granulometría y están constituidas esencialmente por cuarzo, feldespato, clastos, líticos, calcita, clorita, epidota, mica, esfena, circón, empotrados en una matriz areno arcillosa o viceversa (Buitrago et al., 2003).

El cuarzo es inequigranular, angular, existiendo una gradación entre los constituyentes de la matriz y los clastos, hay cristales con excinción recta, ondulatoria y, en algunos hay inclusiones de rutilo; los feldespatos están representados por plagioclasas, limpias o alteradas a minerales arcillosos, raclados según albita, de relieve moderado a mayor que el bálsamo, de composición intermedia a sódica; los clastos líticos están constituidos por fragmentos de chert, espilitas, limolitas y cuarcitas, de forma angular y tamaño variable, procedentes de la erosión de la Cordillera Central; la calcita se presenta como producto del reemplazamiento de la plagioclasa, en venas, como relleno de espacios intersticiales o en agregados conformando parte de la matriz; la clorita se presenta en láminas anhedrales, de color verde pálido disperso en toda la roca, su ocurrencia es común pero en porcentajes bajos y variable y; la matriz está constituida por material silíceo-arcilloso o arcillo arenoso, incoloro e parduzco debido a óxidos

de hierro finamente diseminados, con algunas láminas dispersas de mica y agregados de calcita secundaria (Calle & González, 1982).

La edad de la formación Amagá se estableció palinológicamente por Van der Hammen como Haligoceno Superior. Los miembros superiores de esta formación generalmente están intruidos por diques y sílos basálticos o cubiertos discordantemente por rocas piroclásticas de la formación Combia, conocida como de edad Miocena (Calle & González, 1982).

Geología estructural

El departamento de Caldas se sitúa entre dos grandes sistemas montañosos como son las cordilleras Central y Occidental de los Andes colombianos, que incluyen las cuencas del Cauca y el Magdalena, donde se han acumulado secuencias sedimentarias terciarias de gran espesor producto de la erosión y actividad volcánica. Este territorio se encuentra afectado por el sistema de fallas Romeral y Palestina, en el cual se encuentran además las manifestaciones volcánicas más septentrionales de la cadena andina (González,1993).

En el municipio existen fallas asociadas al cinturón de fuego del pacífico y a las numerosas fallas producto de los movimientos de la placa Nazca, Caribe y Sudamérica. Específicamente se encuentran fallas en las comunidades de Partidas, Las Estancias y Alcacafé; lo cual da cuenta de la alta actividad sísmica (Alcaldía de Riosucio, 2016).

Geomorfología

De acuerdo con la ubicación geográfica, el municipio de Riosucio se localiza en el terreno Cauca-Romeral, en donde Etayo (1986) en Arbelaéz et al (1999), describe una mezcla

estructural con predominio de basaltos, chert, turbiditas siliciclásticas fino a grueso granular, olistotromas de caliza, plutones calcoalcalinos e intrusivos subvolcánicos.

Asimismo, su localización en la zona andina le atribuye una alta meteorización y susceptibilidad al desarrollo de diferentes fenómenos denudativos, alta pluviosidad, alta pendiente, formaciones superficiales poco consolidadas, actividad urbanística del hombre y/o de explotación de elementos naturales (Alcaldía de Riosucio, 2016).

De acuerdo con la clasificación establecida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el 75% del suelo riosuceño es de clase agrológica VII, conocida por formas geológicas de colinas, lomas, cuchillas, cañones, relieves quebrados y escarpados, fácilmente erosionable y frecuentes fenómenos de remoción en masa (Alcaldía de Riosucio, 2016).

En cuanto a las rocas del Stock Tonalítico de Mistrató, formaciones Amagá y Combia, se hallan pendientes en un rango de 20 a 40°, con drenajes dendríticos y subaparalelos, alta disección en material volcánico, vertientes moderadas a largas y complejas, colinas redondeadas. Esta unidad es la de mayor presencia en el municipio (Buitrago et al., 2003).

Hacia el nororiente se presentan pendientes mayores a los 30°, rocas correspondientes a intrusivos porfiríticos, drenajes subdendríticos, disección moderada a alta, colinas agudas, cuchillas rectas y vertientes largas (Buitrago et al., 2003).

Las llanuras aluviales son las de inundación de los ríos Arroyo Hondo, Risaralda, El Oro, Riosucio y sobre la Quebrada Trujillo. Comprende el desarrollo de terrazas de poca altura (2 a 3 m de espesor) (Buitrago et al., 2003).

Hidrología

El territorio riosuceño se encuentra inmerso en la cuenca hidrográfica del río Cauca. Sus principales drenajes son el río Risaralda, río Supía y río Riosucio. El primero cuenta con drenajes secundarios como el río Arroyo Hondo y río El Oro; el segundo con el río Arcón, río Aurria o Estancias y el río Aguas Claras; el tercero con las quebradas El Palal, Aguacatal, Sipirra, De Cumbia, Sancudero, Quinchía, Nadecero, Charcondo, La Peña y La Errada (Buitrago et al., 2003).

En lo concerniente a Quiebralomo, se pueden encontrar afluentes hídricos como quebrada Gavia y El Aguacate, además de los nacimientos Sofia Largo, Balbaneda, Roldan, Misael, Chorro Grande, Saranita, Marco Suárez, Dovalba, La Milagrosa, Muñengue, Elías, El Guimo, Los Guerreros, Susana Quintero, Agua Bonita, Polo, Jesús Naranjo, Los Parras, Tomás Rotavista, Miguel Suarez, Ilduara Suarez, La Sabanita, Luz Alcira (Betancur, 2009).

En campo se pudo constatar que en la vereda se encuentran afloramientos de agua que, aunque no se cuenta con información sobre ellos, son de utilidad para la comunidad como fuentes alternas a los acueductos.

En el sector Las Pilas, se cuenta con las microcuencas (cuenca del río Supía) La Arboleda o La Robada y Los Liandros, beneficiando viviendas del resguardo indígena de Cañamomo y Lomaprieta. De igual modo, en la microcuenca Las Pilas están las quebradas Gasparillo y nacimiento San Cristóbal, entre otras, que abastecen a 450 viviendas de Quiebralomo (Buitrago et al., 2003).

Clima

El municipio se encuentra sobre los pisos térmicos frío y cálido, con una altura máxima de 3.200 m.s.n.m. en la comunidad del Rosario y una mínima de 800 m.s.n.m. en el valle del río Cauca.

El clima está determinado por las características geográficas y ambientales del municipio por lo que, en las zonas de piso térmico frío, el clima se califica como extremadamente húmedo, abundando las precipitaciones de lluvias durante casi todo el año y presenta niebla casi permanente, típica de los sitios donde se hace la transición entre dos pisos térmicos. Las zonas de piso térmico templado se reconocen por un clima húmedo, con períodos de lluvias y neblina menores de los que se presenta en la parte más alta del municipio y las zonas de piso térmico cálido se caracterizan por un clima seco, con periodos de lluvias aislados y por presentarse en la zona más baja del municipio, específicamente en las proximidades del río Cauca. En lo que respecta al área de estudio, sus condiciones climáticas están determinadas por las pertenecientes a las zonas de piso térmico templado.

El municipio cuenta con dos estaciones pluviométricas; La Manuelita, la cual muestra un promedio de 2.278 mm anuales, presentando mayores valores en el mes más húmedo (Octubre), seguido por los meses húmedos (Marzo a Septiembre y Noviembre) y en menor medida en los meses secos (Enero, Febrero y Diciembre); y La Argentina con 2.685 mm anuales; los valores más significativos corresponden a los meses de Abril, Mayo, Octubre y Noviembre, seguidos por Febrero y Marzo además de Junio a Septiembre y Diciembre y en menor medida en el mes de Enero (mes seco) (Arcila et al., 2011).

Asimismo, al estar situado sobre el área Andina posee gran diversidad topográfica y térmica, por lo que predominan varios tipos de temperatura que oscilan entre los 12 °C y los 24°C de acuerdo con la altura sobre el nivel del mar en que se encuentre. Por su parte, el área

de estudio cuenta con una temperatura media de 19-21°C, por su proximidad a la cabecera urbana.

Para la evapotranspiración, se cuenta con el registro de las dos estaciones pluviométricas, con 3,29 mm/día y 1.201mm/año, en la estación La Argentina y 3,26 mm/día 1.191mm/año en la estación La Manuelita. Asimismo, se registra una evaporación anual multianual de 90-120 mm.

La velocidad media anual multianual de los vientos es de 2 m/s, con una dirección anual noroeste hacia la cabecera urbana. Por su parte, el brillo solar media diaria anual para el municipio es de 4 a 5 horas y la humedad relativa media multianual hacia el suroeste y noroeste de 80-85% y hacia el sureste y noreste de 75-80%, lo que se aproxima más a la zona de estudio.

Suelos

El municipio de Riosucio cuenta con suelos suavizados por la cubierta superficial de cenizas donde están ubicados el casco urbano, las comunidades de Pueblo Viejo y parte de Tumbabarreto. Las pendientes oscilan entre 0 y 20°, patrón de drenaje dendrítico, bajo grado de disección, laderas convexas y vertientes cortas. Todo lo anterior asociado a rocas sedimentarias de la formación Amagá y Combia (Buitrago et al., 2003).

Quebralomo cuenta principalmente con dos tipos de suelo como son La Unidad Asociación La Iberia San Lorenzo de origen de rocas ígneas y capas de cenizas volcánicas con relieve de quebrado a escarpado y cima de domos redondeados, suelen presentar desprendimientos, deslizamientos y escurrimientos difusos. Generalmente son profundos y moderadamente profundos, con buen drenaje y regular en materia orgánica. Su textura es

franco-arcillosa y son ácidos a levemente ácidos. La Unidad Asociación Riosucio San Lorenzo, caracterizada por suelos profundos a moderadamente profundos, bien drenados y de textura franco a franco-arcillosa, regular a bajo en cuanto a materia orgánica y son ligeramente ácidos a muy ácidos. (Betancur, 2009)

Zonas de vida

Acorde a la clasificación Holdrige, las zonas de vida del municipio incluyen bosques húmedos premontanos, muy húmedos premontanos y húmedos montanos bajos. En los bosques húmedos premontanos, la mayor parte de la vegetación natural se ha ido reemplazando por especies introducidas; en los bosques muy húmedos premontanos la ganadería se ha convertido en la actividad principal, desplazando las especies de flora y fauna nativas, implicando una transformación total del paisaje natural. En los bosques húmedos montanos bajos se presentan zonas con alta biodiversidad, especialmente en las partes altas con características de subpáramo, a orillas de ríos y quebradas como protección de fuentes de agua y recarga de acuíferos.

La zona de estudio en particular se sitúa sobre la zona de vida *bosque muy húmedo premontano*, que corresponde en su mayor parte a la zona cafetera del municipio con una temperatura entre 18 y 20 grados centígrados y precipitación promedio anual que varía de 2000 a 4000 mm.

Ecosistemas

El municipio cuenta con bosques primarios y secundarios además de zonas de protección de las microcuencas. El área boscosa es una cantidad considerable, con mayor

extensión en los resguardos de La Montaña y San Lorenzo; en este último existen zonas concentradas de protección e interés ambiental (Alcaldía de Riosucio, 2016).

También se cuenta con ecosistemas de agua dulce teniendo en cuenta que hay gran cantidad de afluentes en el territorio, entre ríos y quebradas donde se da diversidad de fauna y flora. Este tipo de ecosistemas cumplen funciones esenciales, entre las que se destaca el ciclo hidrológico que es de gran importancia para todos los seres vivos.

Flora y fauna

Las comunidades de flora que aún persisten en el municipio se encuentran ubicadas principalmente en el bosque muy húmedo montano bajo, correspondiente en su mayoría al resguardo indígena de la Montaña y al resguardo de San Lorenzo. Entre las especies florísticas están: Aracachín, Azucena, Aurorita, Azafrán, Azalea, Anturio, Caucho, Caracucho, Cartucho, Clavel, Colación, Cortejo, Correo, Coqueta, Dalia, Esqueleto, Lirio, Manzanilla, Novio, Siete Cueros, San Joaquín, Veranera, Gerantio, entre otros. Asimismo, se documentaron árboles maderables como: Carbonero, Cedro, Ceibos, Guadua, Ciprés, Nogal, Yarumo, Sauces, Tambor, Gualanday, Tulipán, Aliso, Pajarito, Mano de Tigre, Toro Negro, Poma Rosa, Manga, Mandarin, Carambolo, Ciruelo, Chirimoyo, Mamey, entre otros (Buitrago et al., 2003).

En Quiebralomo se reconocen por parte de la comunidad especies florísticas como Colación, Cortejo, Lirio y Manzanilla; y Arbóreas Como Aguacate, Nogal, Guamo, Guayacán, Pringamoso, Chachafruto, Bore, Árbol Loco y Nacadero principalmente.

La vegetación asociada a los nacimientos de donde se abastecen los acueductos comunitarios de la vereda incluye guineo como la principal planta herbácea que garantiza su protección, así como nacadero y bore por su habilidad para recuperar y proteger fuentes de

agua, pues en el caso del bore, este es recomendado para aislar y enriquecer los nacimientos, además de ser implementado en sistemas de tratamiento biológico para la contaminación del agua.

De igual forma, se reconoce por parte de los miembros de los acueductos comunitarios el Chachafruto, Pringamoso, Guadua y Árbol Loco como especies que contribuyen a la conservación y abastecimiento continuo de las fuentes hídricas.

Imagen 1. Finca Conrado Parra



Fuente: propia

Imagen 2. Nacimiento “El Vendabal”



Fuente: propia

Con respecto a la fauna, en el municipio se realizó una compilación bibliográfica de la misma, por parte de académicos y algunos habitantes de la región, donde se tomaron especies de presencia probable, con base en sus hábitos de migración y las condiciones zoogeográficas predominantes en el municipio.

Entre las especies de aves se encuentran: Gavilán, Pato de Torrente, Pava Barranquera, Guarachera, Pava Andina, Cuco Americano, Garrapatero Común, Cuco Ardilla, Turpial Cañero, Gallito de Ciénaga, Águila Pescadora, Carpintero Real, Punteado y Ahumado, Lora Maicera, Perico, Lorito, Azulejo, Afrechero, Mirla, Caravanas, Soledad, Sinsonte, Sirirí, Paletón, Tórtola, Querques, Gulungo, Toche, Cucarachero, Paují, Torcaza y Salanquejo.

Asimismo, se encuentra diversidad de especies de reptiles como son: Pito, Boa Cazadora, Ratonera, Falsa Coral, Rabo De Ají, Candelilla, La Ciega, Víbora Arpa, Yarumera, Lomo de Machete, Guarda Caminos, Cocli, Sabanera, Mata Ganado, Pelo De Gato, La Verde y Coral De Montaña.

Entre las especies de mamíferos terrestres se encuentran: Guagua Venada, Zorro Cangrejero, Venado Rojo y Cola Blanca, Guatín, Zarigüeya Lanuda y Gris, Guagua Loba,

Tigrillo Gallinero, Conejo de Monte y Sabanero, Perezoso de Dos Dedos, Comadreja de Cola Larga, Oso de Anteojos, Marteja, Nutria, Erizo, Gurre, Guala, Lobo Gallinero, Tigre Pollero. Además, es importante resaltar la presencia de algunas especies endémicas en peligro de extinción como lo es el Tití Tamarín.

Las especies de fauna que los habitantes de la vereda Quiebralomo destacan principalmente son las aves como Azulejos, Turpiales, Gorriones, Tórtolas y Cuervos y, en segunda instancia reptiles e insectos.

7.3.2 Socioeconómica

Población

En el municipio de Riosucio, de acuerdo con la proyección realizada por el DANE, hay una población aproximada de 63.045 habitantes, distribuida entre la cabecera y la zona rural. La relación hombre - mujer es de 48.49% y 51.51% respectivamente.

Alrededor del 80% de la población Riosuceña pertenece a alguno de los cuatro resguardos indígenas, conformados principalmente por la etnia Embera Chamí. De acuerdo con el censo de 2011, en el resguardo Cañamomo Lomapieta de 14.740 habitantes, 49.4% son hombres y 50.6% mujeres; en Escopetera de 8.305, 48.3% son hombres y 51.7% mujeres; en La Montaña, es una proporción 50 50 de 17.963 personas; para San Lorenzo son 51% hombres y 49% mujeres en un total de 11.618 habitantes.

Acorde a la información suministrada por Mariela Guerrero, integrante de la asociación de mujeres del resguardo indígena Cañamomo Lomapieta, la población de la vereda Quiebralomo para el año 2014 era de 1.877 personas con una distribución poblacional

homogénea entre hombres y mujeres. En el sector Las Pilas hay un total de 55 viviendas, con una población aproximada de 275 habitantes.

Condiciones de vida

De acuerdo con la clasificación territorial, Riosucio se ubica en la categoría número 6 a pesar de contar con una población superior a 10.000 habitantes que es la escala estipulada en la ley; sin embargo, los ingresos corrientes de libre destinación anuales no superan los 15.000 salarios mínimos legales mensuales. Se debe agregar que el comportamiento del puntaje del SISBEN oscila entre 4.21 y 82.7 con un promedio de 43.33 concerniente tanto a la zona rural como urbana (DNP, 2017).

El 61.1% de la población riosuceña recibe los servicios de acueducto y alcantarillado según la información obtenida de la superintendencia de servicios públicos domiciliarios. En el caso del servicio de banda ancha, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones estableció que para el año 2017, 2.9% tenía acceso; no obstante, el 100% de la zona rural tiene energía eléctrica. Sin embargo, en el DANE se definió el déficit cuantitativo y cualitativo de vivienda en 8.9% y 17.5% respectivamente (DNP, 2017). En Quiebralomo, el total de las viviendas cuenta con el servicio de acueducto (comunitario) y alcantarillado; no obstante, carecen de una planta de tratamiento de aguas residuales, disponiendo de éstas en diferentes corrientes hídricas, principalmente en la quebrada San Sebastián y El Aguacate la cual es afluente del río Las Estancias

La cobertura neta de educación media, reportada por el Ministerio de Educación Nacional en el año 2016, fue de 42% en Riosucio (DNP, 2017). Específicamente en Quiebralomo, se cuenta con dos sedes educativas en las cuales se dicta preescolar, educación básica primaria y básica secundaria a una población de 130 estudiantes. Para terminar la

educación media, los jóvenes deben desplazarse hasta el casco urbano del municipio. De acuerdo con la percepción de algunos de los habitantes, parte de la población adulta cursó solo primaria o no cuentan con ningún nivel de escolaridad.

Respecto a la salud, el 13,6% de la población del municipio pertenece al régimen contributivo y aproximadamente el 60% al subsidiado. La tasa de mortalidad por cada 1.000 habitantes en 2016 fue de 5.57% y la tasa de fecundidad por cada 1.000 mujeres en edad fértil fue de 40.63% (DNP, 2017). En el centro poblado de la vereda se localiza un centro de salud para la atención de la comunidad

Uso del suelo

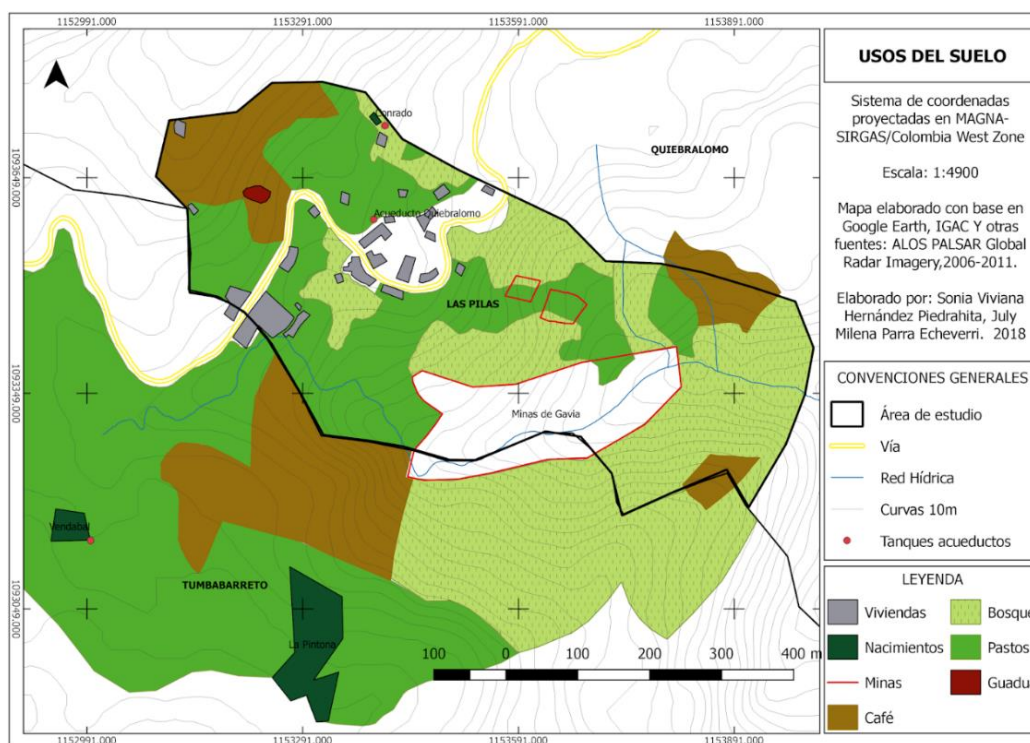
En Riosucio se da desde el clima cálido hasta frío o de páramo; lo que se puede traducir en un gran potencial para la actividad agropecuaria, forestal y minera, las cuales son base de su economía. Es por esto que el suelo rural es utilizado, en mayor medida, para bosques (22.000 ha. aprox.); al igual que para explotación agrícola (8.000 ha. aprox.); explotación pecuaria y otros usos no definidos (13.000 ha. aprox.); centros de desarrollo rural (133 ha.) y minería, piscicultura y demás (50 ha.) (Buitrago et al., 2003).

Los bosques incluyen primario, secundario y artificiales; además se cuenta con cultivos de caña y café tradicionales y tecnificados. En la vereda Quiebralomo se cultiva café asociado con plátano. Cultivos de cítricos, frijoles, maíz, morera, cacao, tomate de árbol y chonto, cebolla junca, yuca tradicional, lulo, mora, pera y chontaduro. También hay pasto natural y artificial (Buitrago et al., 2003).

Por otra parte, el suelo de la zona urbana es destinado a uso residencial, comercial, industrial, institucional, locaciones de cultos religiosos, servicios de salud, locaciones

socioculturales, de recreación, parques y zonas verdes, lotes baldíos, áreas sin uso específico y otros usos (Buitrago et al., 2003).

Figura 6. Usos del suelo sector Las Pilas.



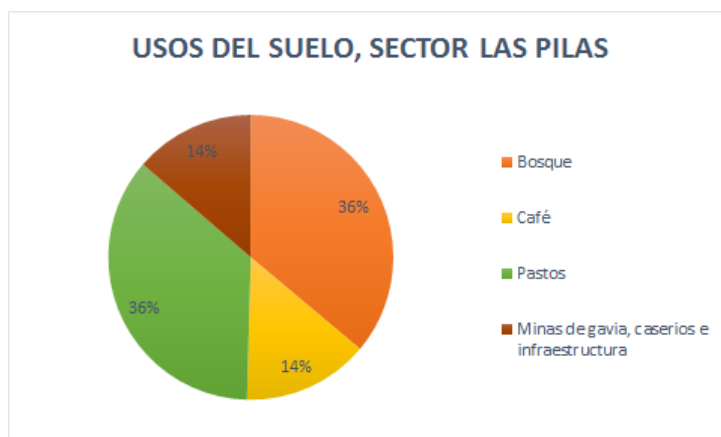
Fuente: propia

En el sector Las Pilas el uso del suelo se centra en cultivos de café en asocio con yuca, plátano, árboles frutales y frijol; pastos manejados; pastos con rastrojo y bosque.

De las 30,18 ha que comprende Las Pilas, el café ocupa un área aproximada de 4,3 ha, los pastos de 10,83 ha y las áreas boscosas 10,9 ha. En lo que respecta a las minas de Gavía y caseríos e infraestructura ocupan el área restante del sector correspondiente al 14%. Lo que deja en evidencia el predominio de pastos para ganadería y rastrojos y áreas boscosas (Gráfico 1), hecho que se puede aducir por una parte, a la necesidad de protección del agua como un bien esencial para el desarrollo óptimo de la comunidad y por el otro, al desinterés de la población en el desarrollo de otros procesos productivos, por constituir la minería el principal

renglón de la economía en el sector, en la cual laboran aproximadamente 800 personas tanto de Riosucio como de Supía, donde se incluye parte de la población de Las Pilas dependientes económicamente de esta actividad.

Gráfica 1. Usos del suelo sector Las Pilas



Fuente: propia

Procesos productivos y tecnológicos

Actividades agrícolas y pecuarias

La actividad agrícola desarrollada en la zona se basa principalmente en el cultivo del café, el cual se asocia en la mayoría de los casos con yuca, plátano y árboles frutales como naranja y limón; sin embargo, es posible encontrar fincas donde se asocia también con frijol. El café es comercializado principalmente en la Cooperativa de Caficultores del Alto Occidente de Caldas de Riosucio y eventualmente en otras dos compraventas del municipio. Los demás productos en el mayor de los casos son para el consumo del hogar y en menor medida para comercio.

Imagen 3. Actividad pecuaria



Fuente: propia

Imagen 4. Actividad agrícola



Fuente: propia

Respecto a la actividad pecuaria, ésta se especializa principalmente en el ganado bovino y caprino para la producción de leche y derivados.

Extracción minera

Históricamente la base económica fundamental de Riosucio ha sido la minería aurífera (beta y aluvión) en las zonas de Quiebralomo, La Montaña y Bonafont. En el resguardo de Cañamomo Lomapieta se concentra la mayoría de las minas especialmente en el sector de

Gavia y la Unión, donde se han realizado esfuerzos por la formalización y organización de los mineros. Según las conclusiones del censo minero realizado en el año 2013, se pudo establecer aquellas zonas no aptas para la práctica minera, el rechazo a la entrada de empresas mineras multinacionales, además de baja escolaridad y niveles de ingresos de los mineros. El censo evidencia la necesidad de planes formación en salvamento minero, seguridad industrial, uso y manejo de explosivos y legislación minera. Los mineros en su mayoría usan explosivos de fabricación casera, pues no todos están dotados de los equipos que son requeridos para la explotación segura, en la mayoría no poseen una disposición final adecuada de los estériles (Alcaldía de Riosucio, 2016).

Actualmente en la vereda Quiebralomo se desarrolla la actividad de manera tradicional especialmente en Gavia, donde se encuentran aproximadamente 100 boca minas, reflejando la alteración ambiental que ha traído consigo dicha actividad, puesto que a pesar del incremento que ha presentado la extracción minera en los últimos años, no se ha implementado ningún tipo de manejo ambiental.

Imagen 5. Minas de Gavia



Fuente: Google Earth

En estas minas se emplean aproximadamente a 800 personas, tanto del municipio de Riosucio como de Supía, convirtiéndose en la principal fuente de ingresos para la población minera perteneciente a Las Pilas.

Comercio y servicios

En el centro poblado de la vereda Quiebralomo predomina el comercio minorista, centrado en la distribución y venta de productos de la canasta familiar, con presencia de tiendas de abarrotes y un supermercado. El sector servicios está principalmente representado por el transporte pues la vereda se ve directamente influenciada por la Troncal de Occidente, una de las principales vías del país, lo que ha facilitado la movilidad de los habitantes hacia la cabecera municipal al contar con una ruta de transporte urbano. Asimismo, favorece al sector primario en cuanto al transporte de insumos necesarios para los procesos de producción en torno a las actividades agrícolas, pecuarias y mineras, así como al transporte de los productos hacia el casco urbano del municipio y otros lugares para su transformación y/o comercialización. En la vereda también es posible encontrar servicio de bar, discoteca y billares tanto en el centro poblado con la discoteca Salvatierra y el billar Dino Rojo, como en el sector Las Pilas con la discoteca Venecia

7.3.3 Procesos políticos y culturales

La construcción histórico-cultural y socioeconómica del sector se relaciona con el vínculo del Resguardo Cañamomo Lomapieta con su territorio. La comunidad indígena ha mantenido una importante cohesión social, política y económica, contando con diferentes instituciones como la Asamblea General, el Cabildo, el Consejo de Gobierno y el Gobernador.

De igual forma, el sector se ve representado en organizaciones tales como la Asociación Indígena de Cafeteros (ASICAFE), la Asociación Indígena de Artesanos (ASOGRUCA), la Asociación Indígena de Mineros Artesanales (ASOMICARS), la Asociación Indígena de Mujeres, entre otras.

En lo que se refiere a conflictos en torno al territorio, éstos se han suscitado con ocasión de la riqueza en elementos naturales renovables y no renovables que se encuentran en el área de asentamiento de la comunidad. La existencia de recursos mineros en el territorio ha conllevado a que éste sea objeto de presiones constantes por parte de actores externos, promovidas y autorizadas de alguna forma por el Estado. Para enfrentar dichas presiones, el gobierno de la comunidad ha expedido Resoluciones internas reglamentando la actividad minera artesanal en el resguardo, declarando el mismo como zona de exclusión para la mediana y gran minería, delimitando zonas para el desarrollo de la actividad minera artesanal ancestral y sujetando la autorización de actividades mineras al cumplimiento de los protocolos sobre Consulta Previa, Libre e Informada y de Consentimiento Previo, Libre e Informado (Corte constitucional, Sala Novena de Revisión, T-530, 2016).

El resguardo indígena Cañamomo Lomapieta juega entonces un papel fundamental en lo relacionado con la actividad minera en el sector Las Pilas al ser el responsable de otorgar los permisos para las fases de exploración o explotación que se deseen llevar a cabo. Sin embargo, según la percepción de algunos mineros, ha pasado de ser un aliado a representar un obstáculo en el desarrollo de la actividad económica, por el interés que ha demostrado en recuperar algunas zonas objeto explotación minera en la actualidad, lo que implicaría el desplazamiento de los mineros. Más aún, el hecho de que el sector esté amparado bajo la figura de resguardo indígena ha salvaguardado e imposibilitado de alguna forma la incursión de empresas foráneas para las cuales el territorio resulta atractivo por su potencial aurífero.

Relacionado con lo anterior, el sector al pertenecer al resguardo se encuentra permeado por sus costumbres y tradiciones, sin embargo, la identidad cultural propia de la comunidad indígena, mediante los procesos de colonización y deseos de “desarrollo” ha perdido elementos que representan la tradición del territorio, y ha adoptado prácticas que no le son propias. Por un lado, una de las principales expresiones culturales de la vereda Quiebralomo es la fiesta de la Virgen de Chiquinquirá que se hace después de la celebración de la semana santa y por el otro, la minería, que aunque, desde un contexto histórico hace parte de las actividades desarrolladas por los indígenas en la época prehispánica con fines principalmente espirituales, en la actualidad, la extracción de oro en el sector responde solo a necesidades e intereses económicos pero a su vez constituye el principal elemento de identidad cultural en la zona.

7.4 Aproximación diagnóstica en términos de oferta y demanda del componente hídrico

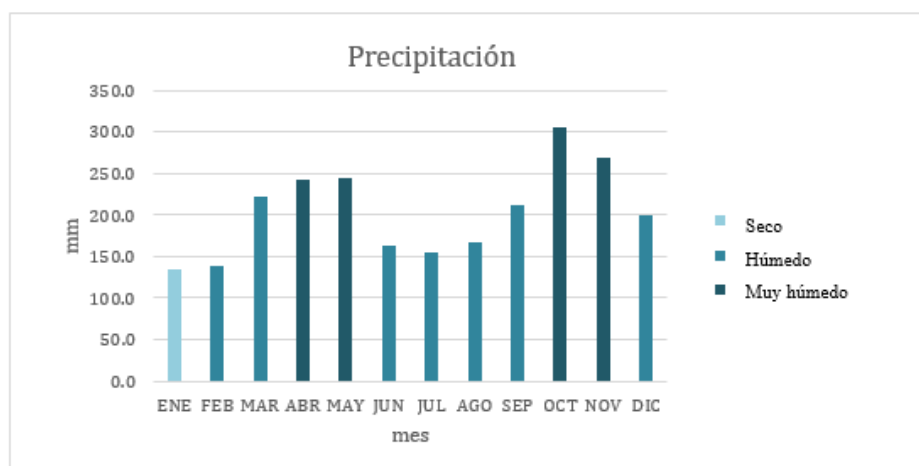
7.4.1 Caracterización del componente hídrico

Precipitación

Para este estudio se tomaron los registros de la estación pluviométrica La Argentina por su cercanía al sector Las Pilas, ésta se encuentra localizada en el corregimiento de San Lorenzo a 2,7 km de distancia. El registro de la precipitación se muestra entre los años 1978 y 2010 con un promedio de 2.685 mm anuales; los valores más altos corresponden a los meses de Abril, Mayo, Octubre y Noviembre (muy húmedos), seguidos por Febrero, Marzo, Junio a Septiembre y Diciembre (húmedos) y en menor medida en el mes de Enero (mes seco)³. El sector se encuentra entre los 1580 y 1840 msnm, presentando una temperatura media de 19-21°C.

³ Atlas climatológico IDEAM. Recuperado de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

Gráfica 2. Precipitación



Fuente: propia

Escorrentía

Para determinar los datos de escorrentía se realizaron los cálculos utilizando el método racional y se obtuvo que en un área de 10.9 ha. utilizada en bosque, el caudal de escorrentía fue 21.643 m³/año; en 4,3 ha. destinadas a cultivos, fue de 54.430 m³/año; y en 10,83 ha de pastizales fue de 131.712 m³/año.

$$Q = C * i * a$$

Q: caudal de escorrentía

i: intensidad

Donde,

C: constante asociada al tipo de suelo

a: área donde cae la lluvia

Tabla 1. Caudal de escorrentía

Tipo de suelo	a (m ²)	i (m/año)	C	Q (m ³ /año)
Bosque	109000	2.482	0.08	21643
Cultivos	43000	2.482	0.51	54430
Pastos	108300	2.482	0.49	131712

Tabla 2. Información hídrica

Precipitación promedio (mm/año)	Evapotranspiración de referencia (mm/año)	Evaporación multianual	Escorrentía (m ³ /año)	
2.685	1.201	90-120 mm.	Bosque	22631
			Café	54419
			Pastos	131686

7.4.2 Oferta y demanda del componente hídrico en el sector Las Pilas

Existe una gran oferta hídrica que abastece los diferentes acueductos que operan en el municipio, y según, lo establecido en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) 2003-2009, la mayoría de estos acueductos son de tipo comunitario o son manejados directamente por los resguardos indígenas, por lo que generalmente se carece de los datos técnicos básicos establecidos para cada microcuenca, como caudales, estado y número de usuarios.

Asimismo, el PBOT establece que la microcuenca Las Pilas (quebrada Gasparillo y otras, y nacimiento San Cristóbal) con un caudal de 3 L/s cubre parte de la demanda de Quiebralomo, en especial el centro poblado con 450 viviendas beneficiadas, y la microcuenca La Robada (quebrada La Robada y nacimiento Albania), cubre una demanda de 900 usuarios en diferentes territorios donde se incluye Las Pilas, con un caudal de 14,44 L/s.

No obstante, en campo se identificaron tres acueductos comunitarios que suplen la demanda hídrica la vereda Quiebralomo y el sector Las Pilas, y se establecieron los caudales mediante el método volumétrico en un periodo de dos días. El proceso consistió en utilizar baldes de diferentes volúmenes, según la capacidad del tanque, para captar agua en el tubo de entrada mientras se contabilizaba el tiempo en un cronómetro; al repetir este procedimiento en diez ocasiones, se pudo realizar los cálculos para obtener los valores promedio presentados en las tablas 2, 3 y 4. Las muestras se tomaron de los tubos que llegan a los tanques debido a que en los nacimientos la corriente hídrica no es suficiente para medir el caudal. Asimismo, fue posible definir el área boscosa de cada afloramiento de agua mediante la toma de coordenadas en diferentes puntos, los cuales fueron proyectados en Google Earth y permitieron el trazo de polígonos dando a conocer sus áreas.

De esta forma, con el trabajo realizado en campo se evidenció que el centro poblado de la vereda Quiebralomo se abastece principalmente del Acueducto Comunitario Quiebralomo, ubicado en el sector Las Pilas, el cual capta el agua de tres afloramientos de la finca La Pintona en la vereda Tumbabarreto con un caudal promedio de 4.02 L/s. El área boscosa que comprende los afloramientos es de aproximadamente 1,18 ha., teniendo como especies predominantes guadua y guineo.

Tabla 3. Caudal Acueducto Comunitario Quiebralomo

Dia 1			Dia 2		
Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
10	2.29	4.37	10	2.30	4.36
10	2.30	4.35	10	2.30	4.36
10	2.29	4.37	10	2.57	3.89
10	2.63	3.80	10	2.58	3.88
10	2.22	4.50	10	2.44	4.11
10	2.65	3.77	10	2.61	3.84
10	2.56	3.91	10	2.46	4.07
10	2.58	3.88	10	2.43	4.12
10	2.58	3.88	10	2.50	4.00
10	3.0	3.33	10	2.79	3.58
Promedio		4.02	Promedio		4.02

Fuente: propia

El acueducto comunitario de Las Pilas capta el agua de la finca “El Vendabal”, de la vereda Tumbabarreto, cuyo nacimiento cuenta con un área boscosa aproximada de 0,20 ha. con

especies como guineo, árbol loco y nacedero. El caudal promedio fue de 1.09 L/s, el cual cubre la demanda constante de 45 viviendas.

Tabla 4. Caudal Acueducto Comunitario Las Pilas

Dia 1			Dia 2		
Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
9	7.99	1.13	9	8.35	1.08
9	8.71	1.03	9	8.25	1.09
9	7.79	1.16	9	8.4	1.07
9	8.01	1.12	9	8.25	1.09
9	7.54	1.19	9	7.9	1.14
9	8.39	1.07	9	7.97	1.13
9	8.46	1.06	9	7.78	1.16
9	8.81	1.02	9	8.43	1.07
9	8.30	1.08	9	8.64	1.04
9	8.50	1.06	9	8.56	1.05
Promedio		1.09	Promedio		1.09

Fuente: Propia

Por su parte, el acueducto localizado en la finca de Conrado Parra abastece la demanda hídrica de las viviendas restantes del sector (10 beneficiarios). El área boscosa estimada fue de 145 m², con un caudal promedio de 0,42 L/s. La vegetación asociada a este nacimiento incluye pringamoso, nacedero, chachafruto, bore y matas de guineo.

Tabla 5. Caudal Acueducto Comunitario Conrado Parra

Dia 1			Dia 2		
Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (Ls)
2.5	6.69	0.37	2.5	6.14	0.41
2.5	5.58	0.45	2.5	6.18	0.40
2.5	6.04	0.41	2.5	5.94	0.42
2.5	6.31	0.40	2.5	5.65	0.44
2.5	6.13	0.41	2.5	5.77	0.43
2.5	5.74	0.44	2.5	5.80	0.43
2.5	5.76	0.43	2.5	5.74	0.44
2.5	5.53	0.45	2.5	5.75	0.43
2.5	5.95	0.42	2.5	6.22	0.40
2.5	5.59	0.45	2.5	5.81	0.43
Promedio		0.42	Promedio		0.42

Fuente: Propia

El agua captada de los acueductos es utilizada para consumo doméstico y en algunos casos para el desarrollo de actividades productivas. Aproximadamente el 50% de los usuarios cuentan con fuentes alternas de las cuales demandan en promedio 3 m³ mensuales.

Por otra parte, se encuentra la quebrada San Sebastián con un caudal promedio de 17 L/s de la cual se capta agua para la actividad minera en la zona de Gavia.

7.5 Simulación

Los modelos de simulación responden, en su mayoría, a la necesidad de evaluar la calidad del agua; es por esto que se buscó desarrollar un modelo que permitiera evaluar el comportamiento en la disponibilidad del componente hídrico en el sector Las Pilas.

Debido a que en el municipio de Riosucio no se ha realizado el proceso de exploración minera aurífera a gran escala, se asumió para la simulación datos del plan de manejo ambiental del proyecto MIRAFLORES-TITULO MINERO 010-87M de Miraflores Compañía Minera S.A.S, en jurisdicción de las veredas Miraflores y Veracruz en el corregimiento de Irra, al sur oriente del municipio de Quinchía, donde se explica el desarrollo de la fase de exploración minera, así como los requerimientos de agua y la disposición de residuos líquidos resultantes en el proceso.

Lo anterior se hizo posible por la similitud en las condiciones climáticas y geológicas entre los municipios de Quinchía y Riosucio, además de que ambos pertenecen al cinturón de oro de Colombia.

Para determinar la afectación en la cantidad del componente hídrico, producto de la exploración minera en el sector La Pilas, se estableció un modelo de simulación en el cual se plantearon *niveles*, que son los lugares donde se acumula algo que está fluyendo en el sistema; *flujos* como la representación de algo que circula en el sistema y *variables* expresadas en datos constantes. Las dos fuentes hídricas evaluadas fueron la quebrada San Sebastián y el nacimiento de la finca “El Vendabal” por ser de donde se podría solicitar la concesión en caso de que se llevara a cabo la exploración minera en el sector.

Aunque la concesión cuenta con 250 ha, el agua para el proceso de exploración sería captada por zonas con el fin de optimizar recursos y no utilizar el agua de una única fuente hídrica; es por esto que para la vereda Quiebralomo el agua sería obtenida de las fuentes anteriormente mencionadas.

7.5.1 Descripción del modelo

Los elementos que conforman el modelo de simulación incluyen la oferta y demanda del acueducto comunitario principal del sector Las Pilas, de un acueducto auxiliar y del agua utilizada en el proceso de perforación de la exploración minera con todas las variables que tienen incidencia en el comportamiento de cada uno de estos. El tiempo se presenta en meses y el volumen en metros cúbicos.

El nivel *agua disponible Las Pilas* tiene como flujo de entrada *oferta Las Pilas*, que a su vez se ve afectado por las variables *área de recarga* y *escorrentía media*, siendo esta última influenciada por el nivel *mes* ya que varía su cantidad en diferentes épocas del año debido a la precipitación que se da en el lugar. Consecuentemente, se encuentran flujos de salida por el *agua para actividades productivas*, así como el *consumo agua Las Pilas* suministrada a los habitantes a través del acueducto comunitario, lo cual tiene incidencia directa en la variable *déficit Las Pilas*. El déficit está influenciado por la variable *demanda agua Las Pilas* que está comprendida por la *demanda doméstica por usuario*, la *demanda agua campamento* y el nivel *usuarios Las Pilas*, alimentado por flujo *crecimiento usuarios*, asociado a la variable *tasa de crecimiento*.

La *demanda agua campamento* es la relación entre las variables *personas campamento* y *demanda agua por persona* que depende de la *duración exploración* al igual que del *mes de inicio exploración* que permite mostrar en el modelo la variación en el comportamiento de la demanda antes y después del inicio de la fase exploratoria; haciéndose la salvedad de que se estima la concesión a partir de 0.1 L/s para todos los trabajadores. Tanto el mes de inicio como la duración de la exploración determinan la *demanda agua perforación*, además del *llenado tanque* que es el flujo de entrada para el nivel *almacenamiento* del cual se desprende el flujo *uso de máquina* que va directamente a la *producción lodos* ingresando al nivel *lodos producidos*. El llenado de tanque depende del *agua requerida* que obedece a la realización o no de la *recirculación*.

La demanda de agua para uso industrial es suplida por la quebrada San Sebastián, la cual cuenta con un *área de recarga* que incide en el flujo de entrada *oferta quebrada* al nivel *agua quebrada* de donde salen los flujos *minas Gavia* para desarrollar la actividad en las minas del sector aledaño; *agua a ecosistemas quebrada* que es necesaria para evitar un impacto mayor y el *consumo quebrada* asociado a la demanda para perforación.

El contenido de cada uno de los niveles, flujos y variables anteriormente mencionados es el siguiente:

Niveles

Agua disponible Las Pilas= INTEG (Oferta Las Pilas-Agua a ecosistemas-Consumo agua Las Pilas, 0)
Unidades: m³

Agua disponible Las Pilas2= INTEG (Oferta Las Pilas2-Agua a ecosistemas2-Consumo Las Pilas2, 0)

Unidades: m3

Agua Quebrada= INTEG (Oferta quebrada-Agua a ecosistemas quebrada-Consumo quebrada-Minas Gavia, 50000)

Unidades: m3

Almacenamiento= INTEG (Llenado tanque-Uso máquina, 0)

Unidades: m3

Lodos producidos= INTEG (Producción lodos, 0)

Unidades: m3/mes

Mes= INTEG (Tiempo, 0)

Unidades: mes

Usuarios Las Pilas= INTEG (Crecimiento usuarios, 45)

Unidades: usuario

Usuarios Las Pilas2= INTEG (Crecimiento usuarios2, 10)

Unidades: usuarios

Flujos

Agua a ecosistemas= 0.3*Agua disponible Las Pilas

Unidades: m³

Agua a ecosistemas quebrada= 0.5*Agua Quebrada

Unidades: m³/mes

Agua a ecosistemas2= 0.3*Agua disponible Las Pilas2

Unidades: m3

Consumo agua Las Pilas= IF THEN ELSE (Agua disponible Las Pilas-Agua a ecosistemas>Demanda agua Las Pilas, Demanda agua Las Pilas, Agua disponible Las Pilas-Agua a ecosistemas)

Unidades: m3/mes

Consumo Las Pilas2= IF THEN ELSE (Agua disponible Las Pilas2-Agua a ecosistemas2>Demanda agua Las Pilas2, Demanda agua Las Pilas2, Agua disponible Las Pilas2-Agua a ecosistemas2)

Unidades: m3/mes

Consumo quebrada= Demanda agua perforación

Unidades: m3/mes

Crecimiento usuarios= Tasa de crecimiento*Usuarios Las Pilas

Unidades: usuario/mes

Crecimiento usuarios2= Tasa de crecimiento*Usuarios Las Pilas2

Unidades: usuario

Llenado tanque= (Agua requerida-Almacenamiento) * STEP (1, Mes de inicio exploración)

Unidades: m3/mes

Minas Gavia= 10.5

Unidades: m3/mes

Oferta Las Pilas= Escorrentía media*Área de recarga

Unidades: m3/mes

Oferta Las Pilas2= Área de recarga2*Escorrentía media

Unidades: m3

Oferta quebrada= Área recarga San Sebastián*Escorrentía media

Unidades: m3/mes

Producción lodos= Uso máquina*1.1

Unidades: m3

Tiempo= STEP (1, 0)

Unidades: mes

Uso máquina= IF THEN ELSE (Recirculación=1, STEP (Agua requerida, Mes de inicio exploración +0.25), STEP (Agua requerida, Mes de inicio exploración+0.25))

Unidades: m3/mes

Variables

Agua requerida= IF THEN ELSE (Recirculación=1, 20, 374.4)

Unidades: m3/mes

Área de recarga= 22784.5

Unidades: m2

Área de recarga2= 8779.35

Unidades: m2

Área recarga San Sebastián= 355355

Unidades: m2

Demanda agua campamento= Personas campamento*Demanda agua por persona

Unidades: m3/mes

Demanda agua Las Pilas= Usuarios Las Pilas*Demanda doméstica por usuario + Demanda agua campamento

Unidades: m3/mes

Demanda agua Las Pilas2= Demanda doméstica por usuario*Usuarios Las Pilas2

Unidades: m3/mes

Demanda agua perforación= PULSE (Mes de inicio exploración, Duración exploración)
*Llenado tanque

Unidades: m3/mes

Demanda agua por persona= PULSE (Mes de inicio exploración, Duración exploración)
*10.368

Unidades: m3/mes

Demanda doméstica por usuario= 15

Unidades: m3/usuario

Demanda fuentes alternas= 69

Unidades: m3/mes

Déficit Las Pilas= Demanda agua Las Pilas-Consumo agua Las Pilas

Unidades: m3/mes

Duración exploración= 7

Unidades: mes

Escorrentía media = WITH LOOKUP (Mes, ((0,0)-(120,0.15)], (0,0.062), (3,0.13), (5,0.15), (9,0.13), (11,0.15), (12,0.13), (13,0.062), (15,0.13), (17,0.15), (21,0.13), (23,0.15), (24,0.13), (25,0.062), (27,0.13), (29,0.15), (33,0.13), (35,0.15), (36,0.13), (37,0.062), (39,0.13), (41,0.15), (45,0.13), (47,0.15), (48,0.13), (49,0.062), (51,0.13), (53,0.15), (57,0.13), (58,0.15), (60,0.13), (61,0.062), (63,0.13), (65,0.15), (69,0.13), (71,0.15), (72,0.13), (73,0.062), (75,0.13), (77,0.15), (81,0.13), (83,0.15), (84,0.13), (85,0.062), (87,0.13), (89,0.15), (93,0.13), (95,0.15), (96,0.13), (97,0.062), (99,0.13), (101,0.15), (105,0.13), (107,0.15), (108,0.13), (109,0.062), (111,0.13), (113,0.15), (117,0.13), (119,0.15), (120,0.13)))

Unidades: m

FINAL TIME = 30

Unidades: mes The final time for the simulation.

INITIAL TIME = 0

Unidades: mes The initial time for the simulation.

Mes de inicio exploración= 12

Unidades: mes

Personas campamento= 25

Unidades: --

Recirculación= 1

Unidades: --

SAVEPER = TIME STEP

Unidades: mes [0, ?]

The frequency with which output is stored.

Tasa de crecimiento= 0.02/12

Unidades: --

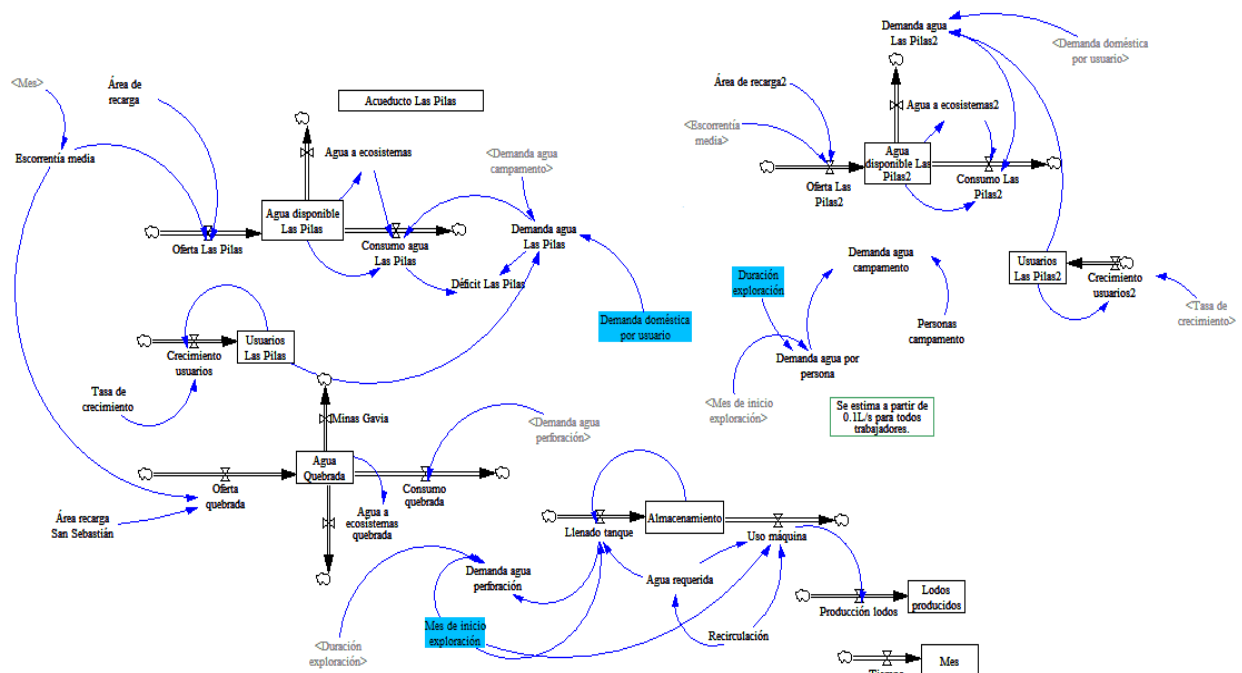
TIME STEP = 0.125

Unidades: mes [0,?]

The time step for the simulation.

En la figura 6 se muestra el modelo previamente descrito, resaltando tres variables claves consideradas como eje estructural del comportamiento en la simulación.

Figura 7. Modelo de simulación exploración minera sector Las Pilas



Fuente: propia

En el primer escenario se simularon las características propias del territorio; en el segundo y tercero se plantearon hipótesis a partir de las particularidades de la zona y demás información recolectada.

Escenario 1

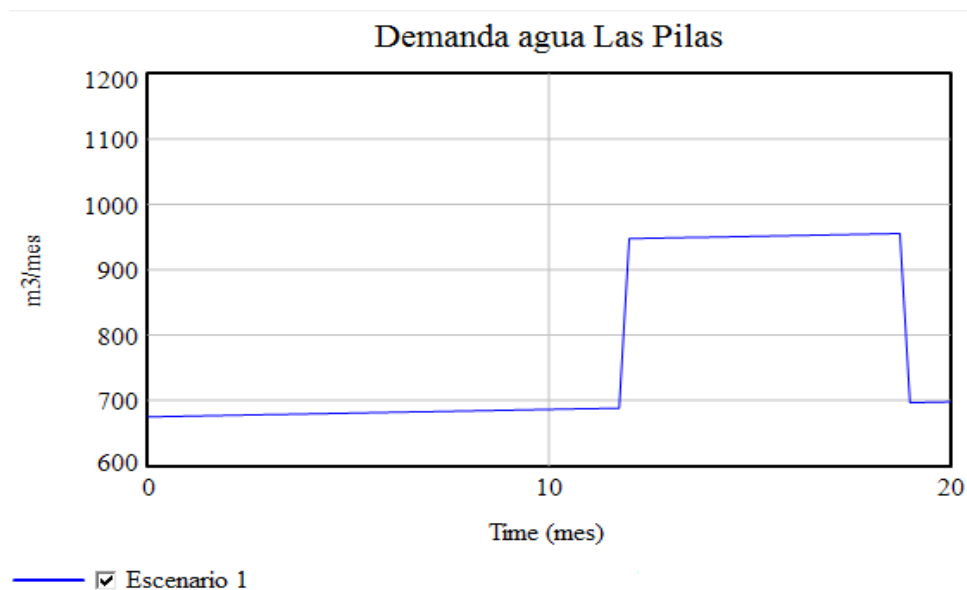
En el sector Las Pilas se cuenta con un acueducto comunitario principal ubicado en la finca “El Vendabal”, el cual suple la demanda de 45 usuarios. Sin embargo, debido a la información recolectada en campo, se pudo comprobar que la población del sector cuenta con acceso a otras fuentes hídricas, es decir, se proveen de otros acueductos alimentados por nacimientos no registrados, lo que conlleva a reducir la dependencia del acueducto principal.

Habitantes de la zona han construido estructuras para captar agua de nacimientos cercanos a sus predios, tal es el caso del señor Conrado Parra quien administra un acueducto del cual se abastecen 10 usuarios de Las Pilas. Además de éste, él capta agua de otro nacimiento en su finca para utilizarla en sus actividades productivas.

Respecto al proceso de exploración minera se plantea realizar, por un parte, la captación del acueducto principal de Las Pilas para uso de las 25 personas que comprende el personal y, por otra parte, recircular el agua utilizada en las perforaciones y en el corte de muestras, reduciendo significativamente la demanda de la quebrada San Sebastián. Después de usarse en las máquinas, el agua es conducida a un tanque de sedimentación para que se precipiten los lodos y de allí pasar al tanque de almacenamiento y así ingresar nuevamente al proceso.

Como se evidencia en la gráfica 2, previo al inicio del proceso exploratorio la demanda doméstica va incrementando gradualmente de 670 a 690 m³/mes. Cuando se establecen los campamentos se da un aumento significativo llegando a 950 m³/mes; no obstante, durante los 7 meses de la exploración continúa aumentando paulatinamente la demanda hasta llegar a 960 m³/mes. En el momento que el proceso llega a su fin el valor se reduce hasta 700 m³/mes.

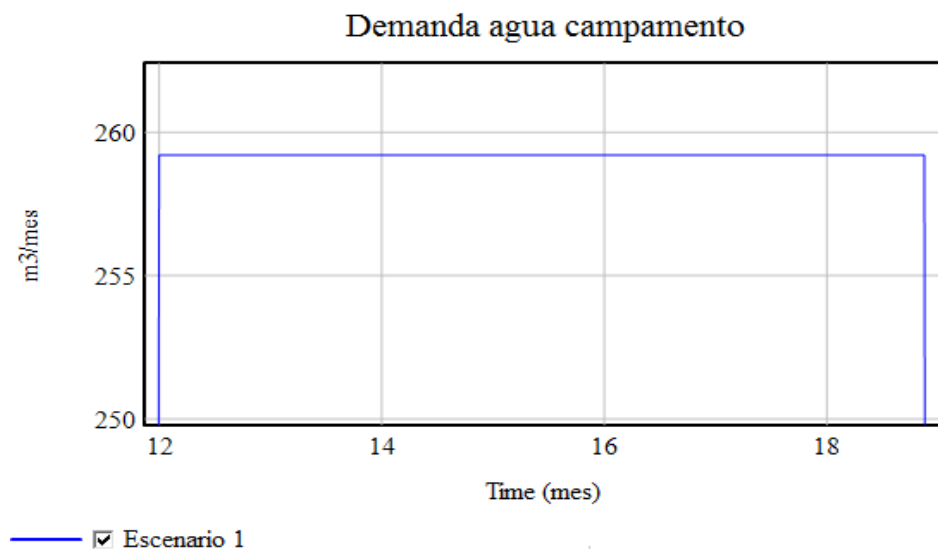
Gráfica 3. Demanda agua Las Pilas



Fuente: propia

En la representación gráfica 3 se demuestra que la demanda de agua para el campamento es constante del mes 12 al 19, tiempo que dura la exploración, tomando un volumen mensual de 260 m³.

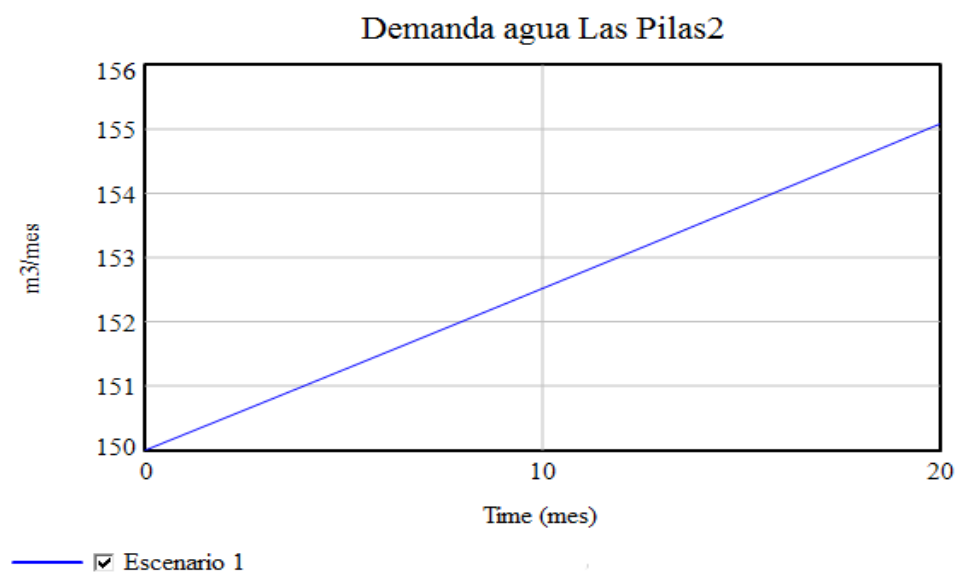
Gráfica 4. Consumo de agua personal campamento



Fuente: propia

En el caso del otro acueducto comunitario de Las Pilas, en la gráfica 4 se muestra que la demanda tiene un crecimiento exponencial moderado, incrementando de 150 a 155 m³/mes en un lapso de 20 meses.

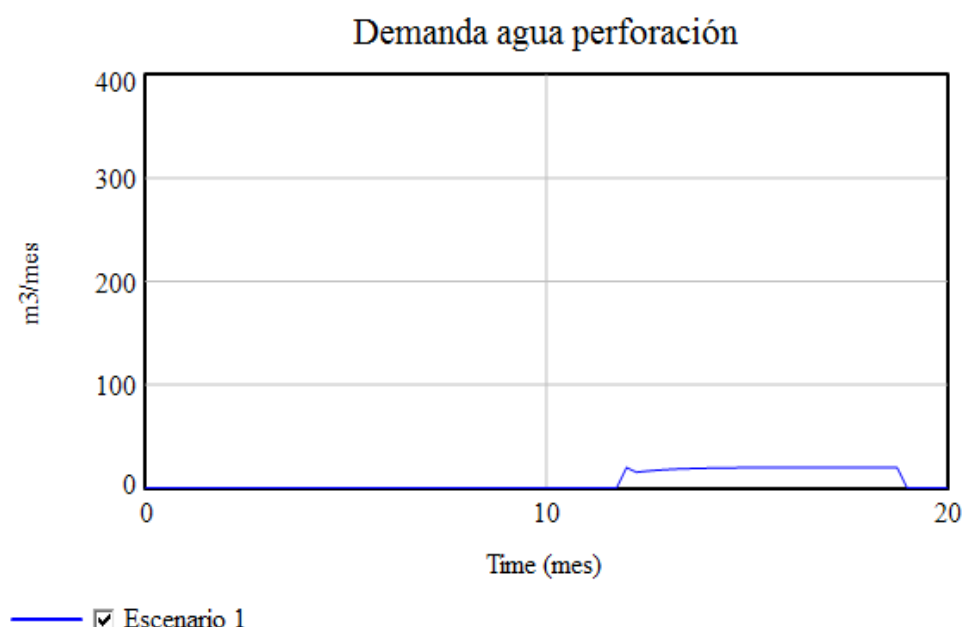
Gráfica 5. Demanda 2 Las Pilas



Fuente: propia

La gráfica 5 muestra el comportamiento de la demanda de agua en el proceso de perforación. Para el funcionamiento de la máquina, se toma agua del tanque de almacenamiento que tiene capacidad de 5 m³, éste se llena a partir del mes 12 cuando inicia el proceso de exploración y una semana después inicia el consumo en la máquina que equivale a 20 m³/mes. Toda el agua que se utiliza en el proceso es vertida a una fuente hídrica superficial cercana luego de someterse al tratamiento de los lodos en una piscina de sedimentación.

Gráfica 6. Demanda de agua proceso de perforación



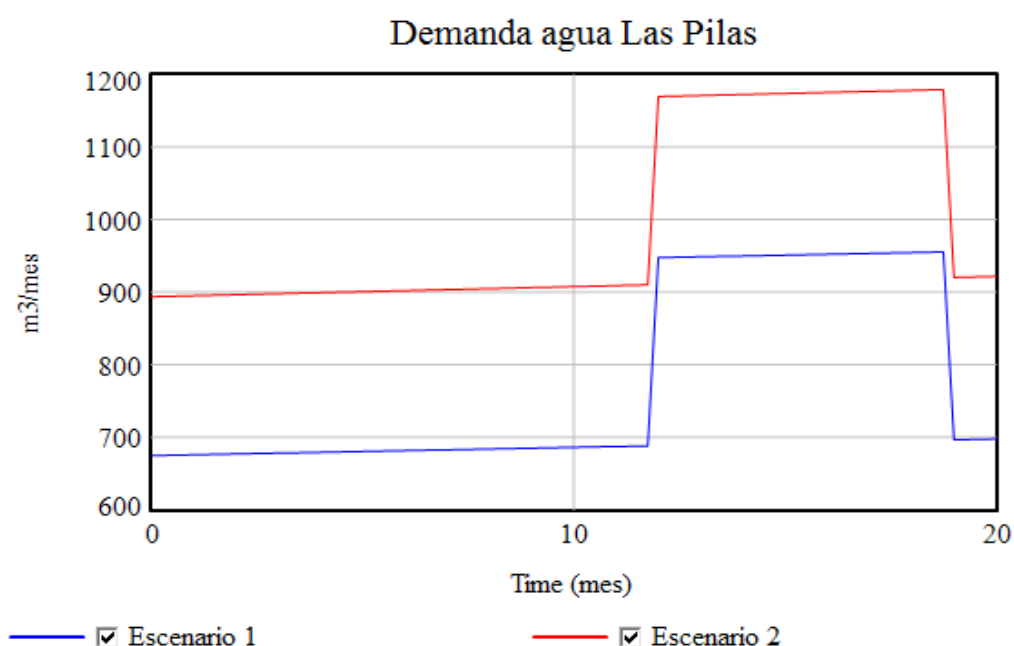
Fuente: propia

Escenario 2

Las actividades que se realizan en la fase de exploración como la apertura de trincheras, la geofísica, la construcción de pozos y galerías, en la mayoría de los casos requieren la remoción de cobertura vegetal y, en algunos, la intervención de cauces, lo que genera la disminución del caudal y la desaparición de fuentes hídricas

El sector Las Pilas cuenta con un acueducto auxiliar que abastece a 10 usuarios y cuya área de recarga puede verse directamente afectada por las actividades exploratorias; sumado a esto, de los 45 usuarios del acueducto comunitario Las Pilas, aproximadamente el 50% cuentan con fuentes alternas para el desarrollo de sus actividades productivas principalmente; si dichas fuentes se alteran, se generaría una dependencia total de la población al acueducto comunitario Las Pilas aumentando la demanda en promedio 3 m³ mensuales por usuario, lo que equivale a 69 m³, más la demanda del acueducto auxiliar si llega a presentar déficit. En este caso, el comportamiento de la demanda del acueducto Las Pilas en comparación con el escenario 1, como se demuestra en la gráfica 6 sería:

Gráfica 7. Demanda agua Las Pilas

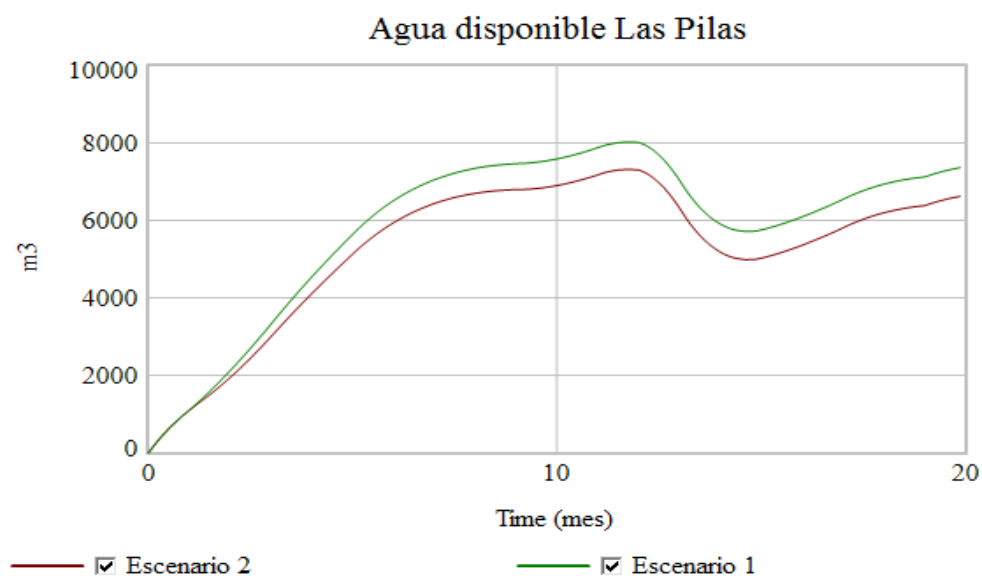


Fuente: propia

En el escenario 2 se observa un aumento en la demanda de 219 m³/mes lo que representa el 32,4% con respecto al escenario 1 y, aunque se evidencia una variación en el agua disponible para las Pilas (gráfica 7) no se alcanza a generar un déficit en el periodo de tiempo

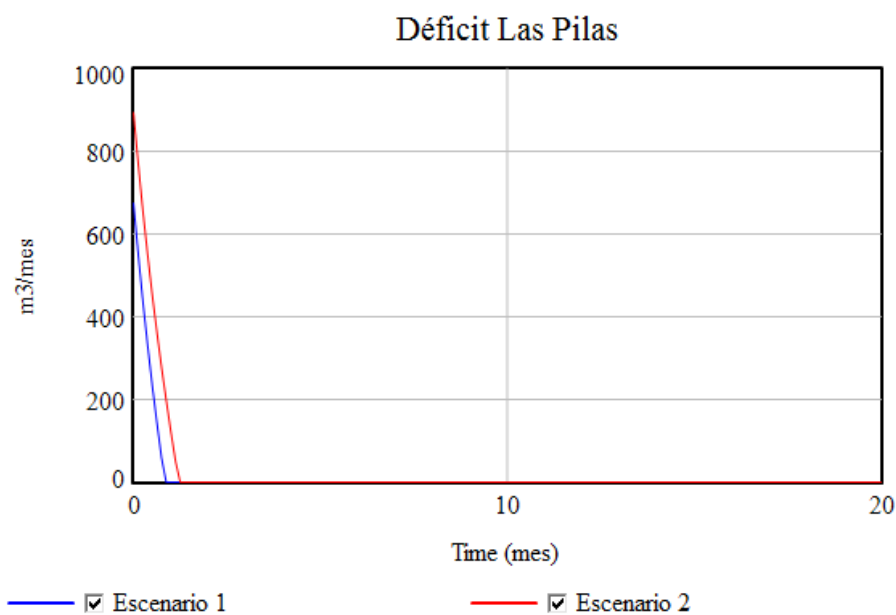
establecido, garantizando el suministro de agua a toda la población del sector como se observa en la gráfica 8.

Gráfica 8. Agua disponible Las Pilas



Fuente: Propia

Gráfica 9. Déficit Las Pilas



Fuente: propia

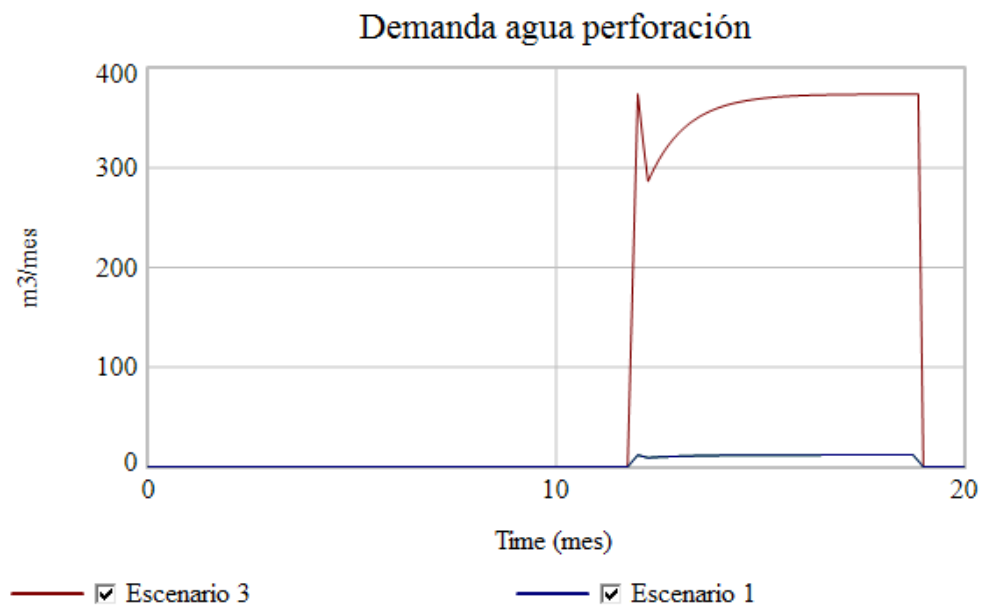
Escenario 3

Debido a las características morfológicas de la zona de estudio, se puede considerar como la opción más viable captar el agua de la fuente hídrica superficial más próxima al área de perforación; por consiguiente, no sería necesario implementar el proceso de recirculación, lo cual implica un consumo de 0.5 L/s para la máquina. Sin embargo, el agua que se capte sería nuevamente retornada aguas abajo de la quebrada posterior a un tratamiento con el fin de no generar impactos significativos.

El agua para consumo industrial es obtenida de la quebrada San Sebastián puesto que cuenta con un caudal suficiente para hacer la solicitud de concesión; además, para lo único que es utilizada actualmente es como suministro para llevar a cabo las actividades de explotación en las minas de Gavia que están ubicadas en el sector.

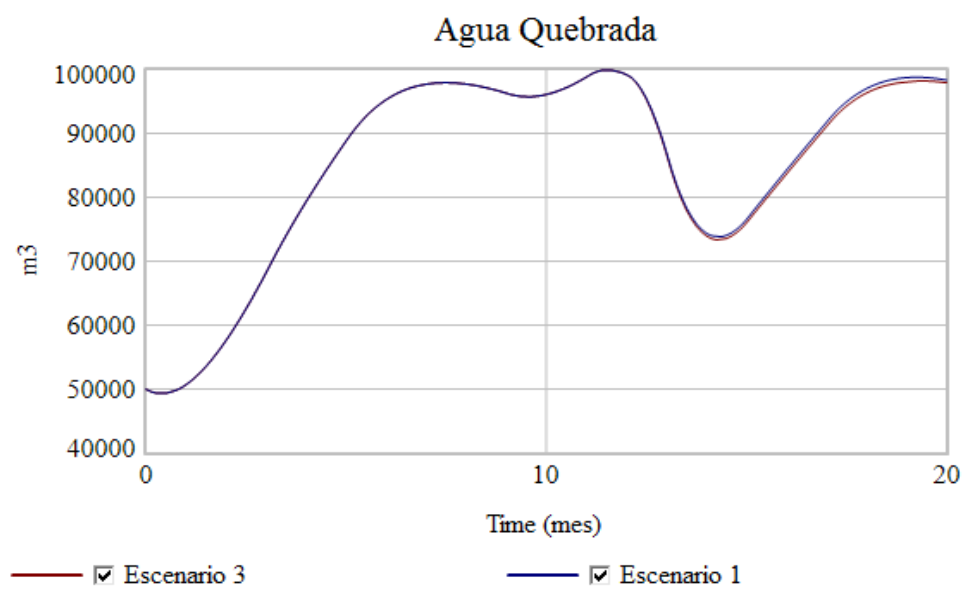
El requerimiento de agua para una máquina de perforación es en general cercano a medio litro por segundo; si se estima un periodo de perforación de 192 horas mensuales, el consumo de agua en promedio sería de 374,4 m³/mes, 18 veces más que el agua utilizada implementando el proceso recirculación (gráfica 9); sin embargo, el comportamiento del agua disponible de la quebrada para otros usos no presenta variaciones significativas como se ve en la gráfica 10.

Gráfica 10. Demanda de agua para perforación



Fuente: propia

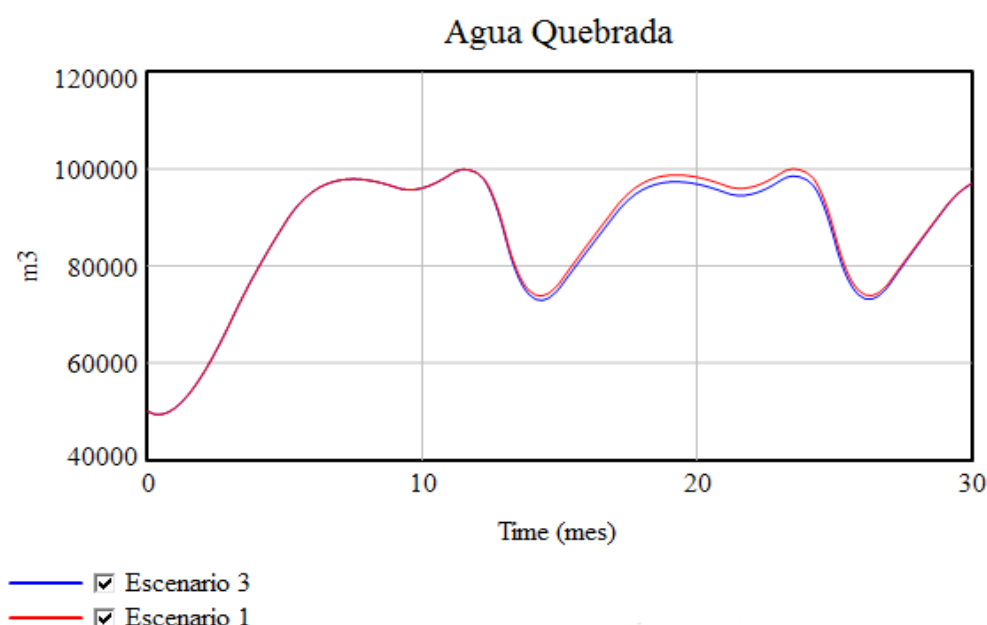
Gráfica 11. Agua disponible para otros usos



Fuente: propia

En caso tal de que se requiera llevar a cabo excavaciones con profundidad entre 800 y 1000 metros, el tiempo de perforación pasaría a ser aproximadamente de 380 horas mensuales, lo que generaría un consumo de agua de 741 m³ al mes, mientras que con el proceso de recirculación implementarían los mismos 20 m³. Aunque el consumo de agua en este caso sería mayor, no se observan variaciones considerables en el comportamiento del agua disponible para otros usos con respecto al escenario 1 y 3 (gráfica 11).

Gráfica 12. Agua disponible para otros usos



Fuente: propia

7.6 Calidad del agua

Como se establece en el **Plan de Manejo Ambiental del proyecto minero Miraflores**, en las labores de exploración se necesitan insumos como gasolina, combustible diésel para equipos alimentados con motores a combustión, aditivos de perforación, aceites y grasas; sin

embargo, su cantidad depende del tamaño del equipo utilizado y el número de perforaciones a realizar.

Una de las actividades a realizarse es la perforación diamantina donde se genera una cantidad mínima de vertimientos ya que el agua y aditivos utilizados en este proceso son recirculados a través de la conducción por bombas al tanque donde se preparan los fluidos, removiendo la presencia de grasas o aceites. Este sistema optimiza el uso de algunas materias primas como la bentonita o emulsificantes viscosos.

Los lodos que se sedimentan en la piscina de recirculación varían en su generación según las condiciones que tenga cada perforación. Cuando la sustancia acuosa a recircular tiene sólidos en exceso, el flujo se lleva a la piscina de sedimentación. El lodo sedimentado se almacena en recipientes plásticos a fin de evitar filtraciones mientras es dispuesto en una celda en el suelo que es sellada con el material extraído de éste.

La generación de aguas residuales domésticas proviene del sistema de tratamiento instalado en la zona administrativa. Para la evacuación de excretas y otros residuos líquidos, se cuenta con un tanque séptico que consiste en un depósito de sedimentación cubierto en el que se vierten directamente los excrementos. El agua residual decantada pasa al filtro anaerobio por gravedad a través de una placa perforada, pues con esta se facilita la distribución del flujo, el líquido asciende y se recolecta por medio de un tubo perforado y luego se lleva al pozo de absorción. Finalmente, el agua tratada se vierte en una zona con vegetación.

Por otro lado, el agua que aflora en el túnel es captada por lloraderos para ser conducida a pozos subterráneos donde se determine la calidad del agua y, en caso de ser necesario, realizar

procesos de neutralización de pH y/o sedimentación de modo fisicoquímico. Posteriormente, el agua se bombea a la superficie para descargarla en la fuente hídrica más cercana.

8. DISCUSIÓN

En los resultados de la simulación se muestra cómo, ante algunas posibles situaciones del proceso de exploración minera, la cantidad de agua no se impacta de manera significativa, ya que la oferta con la que cuenta el sector Las Pilas permite seguir abasteciendo la demanda de la población aunque haya una demanda extra, es decir, por un lado, se capta agua para uso doméstico del acueducto comunitario y, por otro, para el uso industrial el agua proviene de la quebrada San Sebastián que es de donde se abastecen los trabajadores de las minas de Gavia. Lo anterior permite deducir que las diferentes hipótesis planteadas indican que, si se lleva a cabo el proceso de exploración minera en este sector, el componente hídrico no tendría impactos representativos en lo que respecta a su cantidad.

En cuanto a la calidad del agua, cuando finalizan las perforaciones o para sellar las celdas en las cuales se depositan los lodos, se utiliza la cobertura vegetal que antes fue removida para cubrir estas zonas; es en estos lugares donde se vierte el agua residual doméstica después de recibir el previo tratamiento, pues que no se garantiza la remoción del cien por ciento de las bacterias contenidas allí para ser vertidas a una fuente hídrica superficial; caso contrario al agua resultante en el proceso industrial que si es vertida a la corriente de agua más cercana puesto que los elementos químicos con los cuales interactúa son removidos en su totalidad o la cantidad restante no representa una afectación en la fuente receptora.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las actividades enmarcadas en la fase de exploración minera responden a unos estándares generales a nivel nacional; sin embargo, los requerimientos de cada actividad varían según el territorio a estudiar como lo es el tiempo de ejecución, métodos de exploración o los materiales e insumos a implementar; por lo que contar con estudios previos sobre el área a intervenir y un plan de las obras a realizar en el momento de servirse de un modelo de simulación como herramienta para evaluar el comportamiento de los impactos ambientales es fundamental para obtener resultados precisos. Así, por ejemplo, la caracterización de actividades en esta investigación, aunque se basó principalmente en lo estipulado por la guía de exploración minera propuesta por los ministerios competentes, requirió del plan de manejo ambiental de un proyecto llevado a cabo en una zona con características similares, además de la asesoría a expertos para obtener datos más puntuales sobre cada actividad.

El diagnóstico, aunque enfocado principalmente en el componente hídrico, permitió comprender en cierta medida las dinámicas socioeconómicas, políticas y culturales que definen el área de estudio y poder determinar que el hecho de pertenecer a un resguardo indígena con unas formas de organización propias y una identidad marcada por una historia de lucha y resistencia, con alto sentido de pertenencia hacia sus bienes naturales, pero que además presenta unas condiciones geológicas que favorecen la riqueza aurífera, lo hacen un territorio especial. Ahora bien, como todo territorio con sus devenires históricos y complejidades contextuales, presenta conflictos internos que responden principalmente a la pérdida progresiva de las prácticas propias de la minería tradicional, por lo que afianzar y consolidar los procesos organizativos entre las comunidades mineras y la figura que los ampara como resguardo para lograr consensos, no solo puede garantizar el desarrollo de la actividad que soporta la economía de la mayoría de la población, sino que también, el preservar los bienes

naturales que los sustentan. De esta forma, el fortalecimiento de proyectos investigativos con este enfoque puede servir como herramienta no solo a las empresas mineras que deseen incursionar en la zona, sino también a los agentes comunitarios como lo son las asociaciones mineras, el resguardo o demás agremiaciones de la vereda, para reunir esfuerzos y sustentar su posición frente a la ejecución de cualquier proyecto minero a gran escala.

El impacto en la cantidad del componente hídrico del sector Las Pilas no es representativo ya que, a pesar de abastecerse en gran parte por nacimientos, se tiene suficiente oferta para suplir la demanda de la población y de las actividades desarrolladas en la exploración minera. No obstante, si se tienen en cuenta las dinámicas del territorio, la fase podría generar impactos negativos en otros componentes, por lo que adecuar el modelo para evaluar procesos más complejos como los sociales o económicos podría aportar al desarrollo de otra investigación.

Los modelos de simulación se presentan en la evaluación de impacto ambiental como una herramienta útil para el estudio y la experimentación sobre los diferentes elementos que conforman la actividad a evaluar y sus posibles impactos sobre una realidad simulada, sin correr el riesgo de desestabilizar el sistema que se está representando. De ahí que, el implementar este tipo de herramienta a la hora de realizar estudios sobre la factibilidad e implicaciones del desarrollo de un proyecto, aparte de prever el comportamiento de los impactos, da la oportunidad de establecer el manejo más adecuado de los bienes naturales del territorio, sin generar una alteración sobre ellos. En el caso de la exploración minera en la zona de estudio, la posibilidad que ofrecen los modelos de plantear diferentes escenarios y modificar los datos, permite conocer, por ejemplo, hasta qué punto se puede captar agua de cada fuente sin generar un déficit. El contar con este tipo de información puede ser determinante para la toma de decisiones y contribuir posiblemente a la construcción del plan de manejo ambiental del proyecto.

10. BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Riosucio. (2016). Plan municipal de desarrollo 2016 - 2019. Riosucio, Caldas. Recuperado de <http://www.riosucio-caldas.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionyControl/Plan%20de%20Desarrollo%20Municipal%20%E2%80%9CRiosucio%20Cultura%20que%20da%20Vida%E2%80%9D%202016-2019.pdf>

Appelbaum, N. (2007). Dos plazas y una Nación: Raza y colonización en Riosucio, Caldas, 1846-1948- Bogotá, Instituto Colombiano de Antropología e historia, ICANH, Universidad de los andes, Universidad del Rosario. Recuperado de <https://doctrina.vlex.com.co/vid/raza-colonizacion-antropologia-pags-39690102>

Aracil, J. (1995). Dinámica de sistemas. 4ª Edición. Editorial Arquímedes. Recuperado de http://www.academia.edu/8563256/Din%C3%A1mica_de_sistemas_-_Javier_Aracil

Arboleda, J. (2008). Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. Recuperado de http://www.kpesic.com/sites/default/files/Manual_EIA_Jorge%20Arboleda.pdf

Arcila, J. Jaramillo, A. Ramírez, V. (2011). Patrones de distribución de la lluvia en la zona cafetera. Recuperado de <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0410.pdf>

Arnold, M. & Osorio, F. (1998). Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistemas. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1010030>

Atarama, E. (2014). Un mínimo de distancia del cuerpo de agua a los componentes mineros. Recuperado de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11379>

Azarang, G. García, E. Mohammad, R. (1996). Simulación y análisis de modelos estocásticos. Editorial: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE MÉXICO. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/149110927/Simulacion-y-Analisis-de-Modelos-Estocasticos-Mohammad-R-Azarang-nad-Eduardo-Garcia-Dunna>

Bauer, B. Birss, M. James, D. Lefebvre, S. Martin, N. Vicente, A. (2011). Colombia Minería en Colombia: ¿A qué precio? Recuperado de https://www.peacebrigades.org/fileadmin/user_files/projects/colombia/files/colomPBIA/111122_boletin_final_web.pdf

Betancur, D. (2009). Plan de manejo ambiental participativo resguardo indígena Cañamomo-Lomapieta. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1214/333715B562p.pdf?sequence=1>

Buitrago, J. Caicedo, I. Castaño, I. Dávila, H. (2003). Plan básico de ordenamiento territorial. Una integración para el desarrollo social. Riosucio, Caldas. Recuperado de <http://www.riosucio-caldas.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionYControl/Plan%20B%C3%A1sico%20de%20Ordenamiento%20Territorial.pdf>

Calle, B. González, H. (1982). Geología y geoquímica de la plancha 186 Riosucio. Recuperado de

<http://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010024379/documento/pdf/0101243791101000.pdf>

Camero, A. Enrici, M. Gobbi, N. Guimaraes, A. Harada, M. Moreira, P. Ribeiro, J. Rodríguez, A. (2008). Análisis y evaluaciones de impactos ambientales. Recuperado de http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/524/1/an%C3%A1lisis_evaluaciones_impactos_ambientales.pdf

Corte constitucional, Sala Novena de Revisión (27 de septiembre de 2016) Sentencia T-530 [MP Luis Ernesto Vargas Silva]. Recuperado de <http://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2016/t-530-16.htm>

De Viana, J. (S.F.). Tratamiento y eliminación de desperdicios de perforación de exploración y producción. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/4000/GUIA%2004%20-%20OK-desperdicios-exploracion-arpel.pdf>

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2017) Ficha programas de desarrollo con enfoque territorial. Riosucio, Caldas

Erazo, E. (1998). Manual de Evaluación de Impactos Ambientales de Colombia - MEIACOL. ed. CD-ROM 1.0. Santa Marta. Recuperado de https://www.cortolima.gov.co/SIGAM/nuevas_guias/meiacol.pdf

Espinoza, G. (2002). Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental.

Fullana, C. Urquía, E. (2009). Los modelos de simulación, una herramienta multidisciplinar de investigación. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3023238>

Gobernación de Caldas. (2012). Plan de Desarrollo Minero del Departamento de Caldas. Recuperado de <http://medioambienteingenieria.com/wp-content/uploads/2012/09/Plan-de-Desarrollo-Minero-de-Caldas.pdf>

Gómez, C. Gaitán, M. (2009). Plan de vida. Resguardo Indígena de Cañamomo Lomapieta. Recuperado de <http://www.semillas.org.co/es/publicaciones/plan-de-vida-resguardo-ind>

Gella, N. Brüggén, J. (1930). La Exploración Geofísica Del Subsuelo.

Gutiérrez, J. (2010). Propuesta de fortalecimiento organizativo, administrativo y de prácticas culturales a la asociación de mineros Miraflores. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1252/3631062G984.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hoyos, F. (2001). Geotecnia. Diccionario Básico. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/4232/1/696893.2011.pdf>

Isaza, J. (2016). Representaciones Sociales del agua en un contexto de conflicto socioambiental por exploración minera - corregimiento de Palocabildo Jericó-Antioquia. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/56230/1/8026236.2016.pdf>

Martínez, R. (2010). Propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental en Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/4232/1/696893.2011.pdf>

Ministerio de Medio Ambiente (MMA). Ministerio de Minas y Energía (MME). (2001). Guía minero ambiental. Exploración. Recuperado de: <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/416798/explotacion.pdf>

Ministerio de Minas y Energía. (2015). Glosario técnico minero. Recuperado de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/698204/GLOSARIO+MINERO+FINAL+29-05-2015.pdf/cb7c030a-5ddd-4fa9-9ec3-6de512822e96>

Ministerio de Minas y Energía. (S.F.). Términos de referencia los trabajos de exploración (LTE) y programa de trabajos y obras (PTO) para materiales y minerales distintos del espacio y fondo marino. Recuperado de https://www.anm.gov.co/sites/default/files/normativas/terminos_ref_exploracion_mineria.pdf

Miraflores Compañía Minera S.A.S. (2017). Documento de actualización del plan de manejo ambiental del proyecto Miraflores– Título Minero 010-87M.

Orche, E. Puche, O. (2000). Los asentamientos mineros en la minería aurífera de Nueva Granada durante la época colonial. Recuperado de <http://oa.upm.es/10179/>

Poveda, G. (2002). La minería colonial y republicana. Cinco siglos de variantes y desarrollos. Biblioteca virtual Luis Ángel Arango. Recuperado de <http://www.banrepcultural.org/biblioteca-virtual/credencial-historia/numero-151/la-mineria-colonial-y-republicana>

Ribeiro, J. Moreira, P. (2008). Análisis y Evaluaciones de Impactos Ambientales.

Rodríguez, G. (s.f.) Salva la selva. Recuperado de <https://www.salvalaselva.org/temas/mineria#start>

Sánchez, T. (s.f.) 20 años en la historia de las evaluaciones de impacto ambiental en Colombia.

Serna, A. (2013). Minería de oro en Barbosa - Antioquia. riqueza mineral vs desarrollo social. Una mirada desde el desarrollo sostenible. Recuperado de http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1420/Albeiro_Serna_Walter_Monta%C3%B1o_2014.pdf?sequence=1

Servicio Geológico Mexicano (SGM). 2016. ¿Qué es la geofísica? Recuperado de <https://www.sgm.gob.mx/Gobmx/Informes/Educacion.html>

Viloria, M. (2015). Metodología para la Evaluación de Impacto Ambiental aplicada al ciclo de vida de proyectos de infraestructura en Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/54620/1/1095802426.2015.pdf>